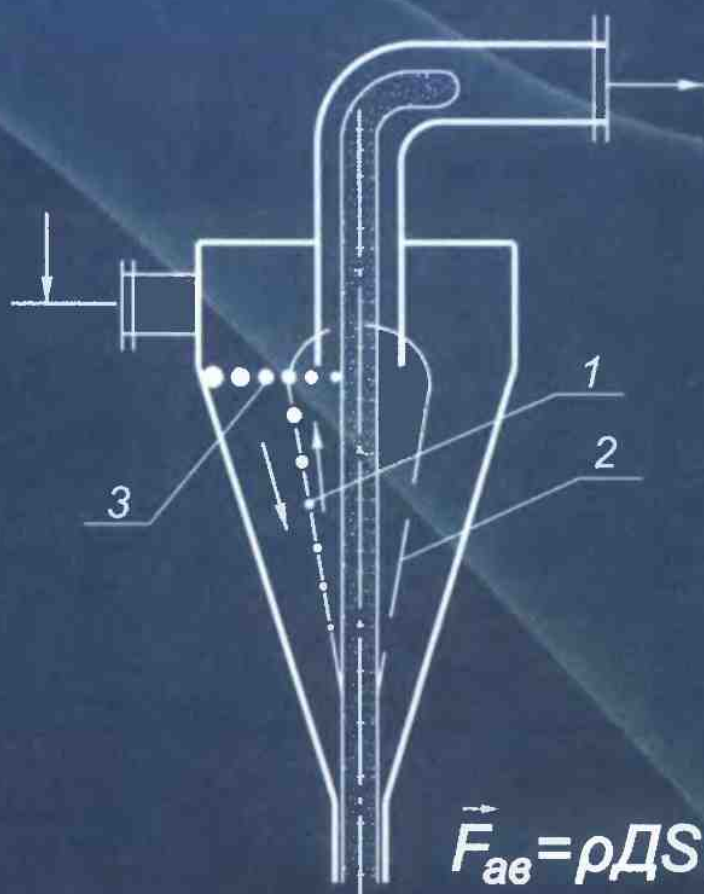


Ә.Әбдіраманов

ГИДРАВЛИКА

Есептер мен жаттығулар жинағы



$$\vec{F}_{ав} = \rho D S (\vec{v}_0 \times \vec{\omega})$$

Әбдіманап ӘБДРАМАНОВ

ГИДРАВЛИКА

ЕСЕПТЕР МЕН ЖАТТЫҒУЛАР ЖИНАҒЫ

Өңделген, толықтырылған
2-ші басылымы

Техникалық жоғарғы оқу орындары білімгерлеріне
арналған оқу құралы



Тараз 2010

УДК 661 (075)
ББК 30. 123 я 7
Ә 14

Пікір жазғандар:

Қойбақов С.М. – техникалық ғылымдардың докторы, профессор.

Ваганов Р.И. – техникалық ғылымдардың докторы, профессор.

Ә 14 Әбдіраманов Ә.

Гидравлика. Есептер мен жаттығулар жинағы.

Тараз: «Сенім», 2010 – 152 б.

ISBN 978-601-7246-06-8

Оқу құралында сұйықтың тыныштық күйі мен қозғалыстағы ерекшеліктері, гидравликалық кедергілер мен арын шығындары, сұйықтың тесіктер мен қондырмалардан ағып шығуы, құбырлар мен ашық арналардағы сұйық қозғалысы, суағарлар мен гидротехникалық құрылымдардағы ағыс, грунт суларының қозғалысы және гидравликалық құбылыстар мен процестерді модельдеу туралы есептер мен жаттығулар қарастырылған. Өмірде кездесетін әртүрлі ағындардың гидравликалық параметрлерін есептеу тәсілдері берілген. Есептеуге қажетті сызбалар мен кестелер, есептер мен жаттығуларды шешуге керек болатын тіркемелік материалдар келтірілген.

Оқу құралы жоғарғы оқу орындарының инженерлік-техникалық мамандықтарының білімгерлеріне арналған. Сондай-ақ су шаруашылық саласында істейтін инженерлер мен техникалық қызметкерлерге де пайдалы.

УДК 661 (075)
ББК 30. 123 я 7

ISBN 978-601-7246-06-8

© Ә.Әбдіраманов, 2010

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз	4
Өлшем бірліктерінің халықаралық жүйесі (СИ)	5
1. Сұйықтар және олардың физикалық қасиеттері	6
2. Гидростатикалық қысым	12
3. Сұйықтың абсолюттік және салыстырмалы тыныштық күйі...	28
4. Жазық және қисық беттерге түсетін сұйықтың қысым күші...	37
5. Сұйық кинематикасы. Гидродинамика негіздері	53
6. Қысқа және ұзын құбырлар. Гидравликалық кедергілер	68
және арын шығындары	68
7. Сұйықтың тесіктер мен қондырмалардан ағып шығуы	89
8. Жасанды суөткізгіштер мен ашық арналардағы сұйықтың қозғалысы	102
9. Екі қосынды сұйықтар қозғалысы	118
10. Грунт суларының қозғалысы	130
11. Ұқсастық және өлшемдер теориясы. Құбылыстар мен процестерді модельдеу	133
Тіркемелер	146
Пайдаланылған әдебиеттер	150

АЛҒЫ СӨЗ

Оқу құралы бакалавриатураның «Су қорлары және суды пайдалану», «Мелиорация, жерді баптау және оны қорғау», «Сумен қамтамасыз ету және ластанған суды әкету», «Гидротехникалық құрылымдар» және «Құрылыс», мамандықтары білімгерлеріне 2-ші рет, қайта өңделіп, толықтырылып ұсынылып отыр. Оқу құралын техникалық мамандықтардың басқа түрлеріне де пайдалануға болады.

Есептер мен жаттығулардың жалпы мазмұны Ә. Әбдірамановтың «Гидравлика» оқулығымен және лабораториялық практикумымен (С.Жолдасовпен бірге жазылған) сарындас, бірін-бірі толықтырып тұрады, біртұтас білім алуға ыңғайлы етіп түзілген.

Оқу құралына классикалық есептермен қатар тыңнан құралған, қазіргі заманның оқыту бағдарламасына сай, есептер мен жаттығулар енгізілген. Мысалы, бұралған ағындар сипаттамаларын есептеу, сұйықтың айналмалы қозғалысына негізделген гидравликалық машиналар мен аппараттардағы процестердің параметрлерін анықтау, жабық және ашық каналдардағы ағынды үлгілеу (модельдеу), т.б.

Әр тарау, кітаптың бірінші басылымындағыдай, жаттығулардан басталып, сандық есептерге ұласады. Күрделі деген есептерге, олардың шешімі берілген немесе ескертпелер келтірілген. Кітап соңында есептерді шешуге қажетті гидравликалық параметрлер туралы кестелер тіркелген.

Аға оқытушылар: С.Қ.Жолдасов және М.Абдиров, аспиранттар: Қ.Р.Жабағиева, Н.Ә.Әбдіраманов, Е.Тұңғышбаев және магистр Н.Ж.Жоламанов жинақтың 2-ші басылымына жаңа есептер ұсынды.

Кітап материалдарын теріп, суреттерін сызып, баспаға дайындаған Дина Әбдіманапқызы Әбдіраманова.

Оқу құралына пікір жазған профессорлар С.М. Қойбақов пен Р.И. Вагаповтың ұсыныстары оқу құралының сапасын арттыруға септігін тигізді. Жоғарыда аты аталған адамдарға өз ризашылығымды білдіремін.

Оқу құралының мемлекеттік тілде алғаш шығуына байланысты кейбір олқылықтардың болып қалуы мүмкін, сондықтан кітапты пайдаланушылар тарапынан, кітаптың сапасын арттыруға бағытталған ұсыныстар мен тілектер үлкен ілтипатпен қабыл алынады. Біздің мекен-жайымыз: Тараз қ., Сатпаев көшесі, 28, М.Х.Дуллати атындағы ТарМУ, «Су ресурстары» кафедрасы.

Автор

Өлшем бірліктерінің халықаралық жүйесі (СИ)

Бұрынғы Кеңес Одағында, 9867-61 мемлекеттік стандартымен 1963 жылы 1 қаңтардан бастап өлшем бірліктерінің халықаралық жүйесі (латынша SI, қазақша-орысша қысқартылып белгіленуі бойынша СИ) енгізілді.

1. Гидравликалық есептерде, 9867-61 мемлекеттік стандартымен (МеСТ-ГОСТ) енгізілген негізгі алты өлшем бірлігінің үшеуі қолданылады:

ұзындық - өлшем бірлігі метр (м);

масса - өлшем бірлігі килограмм (кг);

уақыт - өлшем бірлігі секунд (с).

Қосымша өлшем бірліктерінен гидравликалық есептерде, бұрыштарды өлшеу үшін радиан (рад) қолданылады. Төменде СИ бірліктерінен туындайтын, жиі пайдаланылатын атаулар келтірілген.

Аталуы	Өлшем бірлігі
Аудан	1м^2
Көлем	1м^3
Жылдамдық	$1\text{м}/\text{с}$
Үдеу	$1\text{м}/\text{с}^2$
Бұрыштық жылдамдық	$1\text{рад}/\text{с}$
Күш	1Н (Ньютон)
Қысым, жүктену	$1\text{Н}/\text{м}^2$
Сұйықтың серпімділік модулі	$1\text{Н}/\text{м}^2$
Тығыздық	$1\text{кг}/\text{м}^3$
Үлестік салмақ	$1\text{Н}/\text{м}^3$
Динамикалық тұтқырлық	$1\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$
Кинематикалық тұтқырлық	$1\text{м}^2/\text{с}$
Жұмыс, энергия	1дж ($1\text{ джоуль} = 1\text{Н}\cdot\text{1м}$)
Қуат	1вт ($1\text{ватт} = 1\text{дж}/\text{с}$)

2. МКГСС біртекті бірліктер жүйесі және СИ халықаралық жүйесі арасындағы, кейбір маңызды қатынастар:

$$\text{күш } P = 1\text{кГ} = 9,81\text{Н};$$

$$\text{қысым } p = 1 \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2} = 10000 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^2} = 98100 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

$$\text{судың үлестік салмағы, } \gamma = \rho g = 1000 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^3} = 9810 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3};$$

судың тығыздығы,

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1000}{9,81} \approx 102\text{кГ} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}^4} = \frac{9810\text{Н/м}^3}{9,81\text{м/с}^2} = 1000\text{Н} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}^4} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\text{жұмыс } 1\text{кГ} \cdot \text{м} = 9,81\text{Н} \cdot \text{м} = 9,81\text{Дж};$$

$$\text{қуат } 1\text{кГ} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 9,81\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = 9,81 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 9,81\text{Вт}.$$

3. Есептеулерді жүргізгенде кейбір шамалар өте үлкен немесе өте кіші мәндерден тұрады, сондықтан кейде оларды еселік немесе үлестік бірліктер, СИ бірліктері 10 санының дәрежесіне көбейту немесе бөлу жолымен түзіледі. Олардың атауларын, 7663-55 МеСТ-та атап өтілген халықаралық СИ жүйесінде немесе туынды бірліктермен біріктіріп алады.

$$\text{Мысалы, } p \cdot 10^3 \text{ Н} = p \text{ килоньютон} = p \text{ кН}$$

1. Сұйықтар және олардың физикалық қасиеттері

1.1-жаттығу.

Сұйықтың кинематикалық тұтқырлығының СИ – жүйесіндегі өлшем бірлігі қандай?

$$\text{Жауабы: } [\nu] = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

1.2-жаттығу.

Сұйықтың динамикалық тұтқырлығының СИ – жүйесіндегі өлшем бірлігін келтіріңіз.

$$\text{Жауабы: } [\mu] = \text{Па} \cdot \text{с} = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

1.3-жаттығу.

Динамикалық тұтқырлық коэффициенті СГС – жүйесінде қандай формуламен есептелінеді?

Жауабы:

$$\mu = \frac{0,0178\rho}{1 + 0,0337t + 0,000221t^2}.$$

1.4-жаттығу.

Ауаның динамикалық тұтқырлық коэффициентін қандай формула арқылы табуға болады?

Жауабы:

$$\mu = 17 \sqrt{1 + 0,003665t}(1 + 0,0008t)^2 10^{-6}, \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

1.5-жаттығу.

Тұтқырлықтың динамикалық коэффициентінің СИ жүйесіндегі өлшем бірлігін табыңыз.

Жауабы:

Ньютон-Петров теңдеуінен

$$\mu = \frac{F}{S} \frac{dn}{du}, [\mu] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \frac{\text{м}}{\text{м}/\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = \text{Па} \cdot \text{с}.$$

1.6-жаттығу.

Тұтқырлықтың кинематикалық коэффициентінің СИ жүйесіндегі өлшем бірлігін табыңыз.

Жауабы:

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ байланыстылығынан

$$[\nu] = \frac{[\mu]}{[\rho]} = \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

1.7-жаттығу.

Мөлшерлері $50 \cdot 40 \cdot 20 \text{ см}^3$ мұз бөлігі, температурасы $T=20^\circ\text{C}$ суға толған ыдыста еркін жүзіп жүр. Мұздың салыстырмалы салмағы 0,9. Егер мұз еритін болса, ыдыстағы су деңгейі өзгере ме? Өзгерсе, не үшін өзгередінін түсіндіріп беріңіз.

Жауабы:

Иә өзгереді, өйткені мұздың тығыздығы судың тығыздығынан әлдеқайда кем.

1.8-жаттығу.

Мөлдір цилиндр ыдыста глицерин, су, керосин қалай орналасатынын сызып көрсетіңіз.

1.1-есеп.

Су сыйымдылықтың бастапқы су көлемі $W=2\text{м}^3$. Су температурасы 20°C -ден 40°C дейін көтерілгенде судың көлемі қалай өзгереді?

Шешімі:

Судың көлемі көбейеді, оны мына формула бойынша табады

$$\Delta W = \beta_t W \Delta t.$$

Осы температура аралығында $\beta_t = 0,000285 \text{ 1/град.}$

Сондықтан $\Delta W = 0,000285 \cdot 2 \cdot 20 = 0,0114\text{м}^3 = 11,4\text{л.}$

1.2-есеп.

Қысым $9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ -ға көбейгенде су көлемі бастапқы көлемінің $1/20000$ бөлігіндей шамаға кемиді. Есептеп шығарыңыз.

Шешімі:

Судың көлемдік орташа сығылу коэффициенті $\beta_c \approx 1/2 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Су көлемінің бастапқы көлемінен азаюы

$$\Delta W = -\beta_c W_0 \Delta P$$

немесе

$$\Delta W \approx -(1/2 \cdot 10^{-9}) W_0 \cdot 10^5 \approx -(1/20000) W_0.$$

1.3-есеп.

Температурасы 10°C судың динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерін есептеп шығарыңыз.

Шешімі:

Динамикалық тұтқырлық коэффициенті СГС – жүйесінде мына формуламен есептеледі

$$\mu = \frac{0,0178\rho}{(1 + 0,0337t + 0,000221t^2)}$$

немесе

$$\mu = 0,0131 \frac{\rho}{\text{см} \cdot \text{с}} = 0,00133 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 0,0131 \frac{\text{см}^2}{\text{с}} = 0,00000131 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

1.4-есеп.

Температурасы $t=10^{\circ}\text{C}$ ауаның динамикалық және кинематикалық тұтқырлық коэффициенттерін есептеп шығарыңыз.

Шешімі:

Ауаның динамикалық тұтқырлық коэффициентін мына формула арқылы табуға болады

$$\mu = 17 \sqrt{1 + 0,003665t(1 + 0,0008t)} 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

Жуықтап есептеу үшін одан оңайлау формула ұсынылады

$$\mu = \mu_0 \left[\frac{(t + 273)}{273} \right]^4 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2},$$

μ_0 – температурасы 0°C кезіндегі ауаның динамикалық тұтқырлық коэффициенті,

$$\mu_0 = 17 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}.$$

Ал,

$$\mu = \mu_0 \sqrt[4]{(1,036)^3} \approx \mu_0.$$

Ауаның кинематикалық тұтқырлық коэффициенті

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 0,0000016 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

1.5-есеп.

Соңғы екі есепті талдаңыз:

1) Судың динамикалық тұтқырлық коэффициентінің ауаның осы көрсеткішіне қатынасы қандай $\left(\frac{\mu_{cy}}{\mu_{ауа}}\right)$?

2) Ауаның кинематикалық тұтқырлық коэффициентінің судың осы көрсеткішіне қатынасы қандай $\left(\frac{\nu_{ауа}}{\nu_{cy}}\right)$ емесін анықтаңыз?

Жауабы:

$$\left(\frac{\mu_{cy}}{\mu_{ауа}}\right) = 78,23; \quad \left(\frac{\nu_{ауа}}{\nu_{cy}}\right) = 1,23.$$

Сонымен,

$$\mu_{cy} > \mu_{ауа}; \quad \nu_{ауа} > \nu_{cy}.$$

1.6-есеп.

Артық қысымы $P_{ар}=3900$ Па, температурасы $t=227^{\circ}\text{C}$ күйіндегі ауаның тығыздығын табыңыз.

Шешімі:

Ауаның абсолюттік қысымын анықтаймыз

$$P_{абс.} = 98100 + 3900 = 102000 \text{ Па.}$$

Ауаның абсолюттік температурасын табамыз

$$T = 273 + 227 = 500 \text{ К.}$$

Ауаның тығыздығын күй теңдеуін пайдаланып шығарамыз

$$\rho = \frac{P_{абс.}}{RT} = \frac{102000}{287 \cdot 500} = 0,71 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$R - \text{газ тұрақтысы, } R = 0,082 \frac{\text{л.а}}{\text{град.моль}} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

1.7-есеп.

Температурасы $t=20^{\circ}\text{C}$ су мен сынаптың капиллярлық көтерілу биіктігі қандай болады, егер шыны түтікшенің диаметрі $d=3$ мм болса?

Жауабы:

10 мм, 4,8 мм.

Ескерту: $h = \frac{4\alpha}{\rho gh}$, α – беттік жиырылу коэффициенті:

$\alpha_{\text{су}} = 73 \text{дин/см}$; $\alpha_{\text{сын}} = 540 \text{дин/см}$.

1.8-есеп.

Теңіз суының тығыздығы $\rho = 104,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$ оның меншікті салмағын анықтаңыз.

Жауабы:

$$\gamma = 1028,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 10085,7 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

1.9-есеп.

Бес литр мұнайдың салмағы $G = 4,25 \text{кг} = 41,69 \text{Н}$. Мұнайдың тығыздығын, меншікті салмағын СИ және СГС жүйелерінде табыңыз.

Жауабы:

$$\rho = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,850 \frac{\text{г}}{\text{см}^3};$$

$$\gamma = 8338 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} = 833 \frac{\text{дин}}{\text{см}^3}.$$

1.10-есеп.

Температурасы $t = 50^\circ\text{C}$ мұнайдың меншікті салмағы $\gamma = 9 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$, динамикалық тұтқырлығы $\mu = 5,884 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$. Мұнайдың кинематикалық тұтқырлық коэффициентін табыңыз.

Жауабы:

$$\nu = 6,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

2. Гидростатикалық қысым. Пьезометрлік және вакуумметрлік биіктіктер

2.1-жаттығу.

Су ішіндегі А нүктесіне түсірілген гидростатикалық қысым жоғарыдан төмен қарай ρgh_A (h_A - нүкте тереңдігі) шамасымен сығады, ал сол нүктеге гидростатикалық қысым төменнен жоғары қарай қандай шамамен әсер етеді?

Жауабы: $p = \rho gh_A$

Ескерту: бұдан және қандай қорытынды жасауға болар еді.

2.2-жаттығу.

Егер элементар сұйық параллелепипед абсолюттік тыныштық күйде болса (инерциялық күштер нөлге тең), оған тек қана ауырлық салмағы ғана әсер етсе, онда сұйықтың тепе-теңдік күйінің дифференциалдық теңдеулері (Эйлер теңдеулері) қандай түрге енер еді?

Жауабы:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = 0; \quad -\frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0.$$

2.3-жаттығу.

Сұйық ішіндегі А, В, С нүктелері h_A , h_B , h_C - тереңдіктерде жатыр делік. Оларға әсер етуші гидростатикалық қысымдар $P_A = P_0 + \rho gh_A$; $P_B = P_0 + \rho gh_B$; $P_C = P_0 + \rho gh_C$ болар еді (P_0 -судың бетіне түсірілген сыртқы қысым). Осы тұжырымнан қандай заң өзі сұранып тұр?

Жауабы:

Паскаль заңы.

2.4-жаттығу.

Гидростатика мәселелерін қарастырғанда идеал сұйық немесе шынайы сұйық деп бөлудің қажеті жоқ, оның мәнісі неде?

Ескерту: Идеал сұйық пен шынайы сұйықтың анықтамаларын еске түсіріңіз.

2.5-жаттығу.

Еркін түсу үдеуін $g \cong 10 \frac{м}{с^2}$ деп санап:

а) бір атмосфералық қысым мен б) бір метр су бағанасының қысымы килопаскальмен есептегенде қандай шамаларға тең?

Жауабы:

а) $1a = 1 \frac{кг}{см^2} = 100кПа;$

б) $1м.с.б. = 10кПа.$

2.6-жаттығу.

Жүз метр су бағанасы әсер етіп тұрған ауданға мегапаскальмен (МПа) есептегенде қандай қысым түсіп тұр?

Жауабы: 1 МПа.

2.1-есеп.

Сумен толтырылған ыдыс түбіне түсетін толық гидростатикалық қысымды анықтаңыз. Ыдыстың жоғары жағы ашық, еркін бетке атмосфералық қысым әсер етеді. Ыдыстағы су тереңдігі $h=0,50$ м.

Есепті: 1) МКГСС жүйесінде; 2) Халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ); 3) жүйелерден тыс механикалық бірліктерде, орындаңыз.

Шешімі: Бұл жағдайда $p_0 = p_a$, сондықтан толық қысым формуласын төмендегі түрде қолданамыз

$$p = p_a + \rho gh.$$

Толық қысым сонда тең болады:

1) МКГСС жүйесінде

$$p_a = 10000 \frac{кг}{м^2}; \quad \gamma = 1000 \frac{кг}{м^3};$$

$$p = 10000 + 1000 \cdot 0,50 = 10500 \frac{кг}{м^2};$$

2) халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ)

$$а) p_a = 9,81 \cdot 10^4 \frac{H}{M^2}; \gamma = 9810 \frac{H}{M^3};$$

$$p = 9,81 \cdot 10^4 + 9810 \cdot 0,5 = 103005 \frac{H}{M^2}.$$

$$б) p_a = 98,1 \frac{кН}{M^2}; \gamma = 9,81 \frac{кН}{M^3};$$

$$p = 98,1 + 9,81 \cdot 0,5 = 103,005 \frac{кН}{M^2};$$

3) жүйелерден тыс механикалық бірліктерде

$$p_a = 1 \frac{кГ}{см^2} = 1a; \rho g = 0,001 \frac{кГ}{см^3};$$

$$p = 1 + 0,001 \cdot 50 = 1,05 \frac{кГ}{см^2} = 1,05a.$$

2.2-есеп.

Алдыңғы есеп шартымен, дәл сол жүйелерде ыдыстың түбіне түскен манометрлік қысымды анықтаңыз.

Шешімі:

$$1) p = \rho g h = 1000 \frac{кГ}{M^3} \cdot 0,5 M = 500 \frac{кГ}{M^2};$$

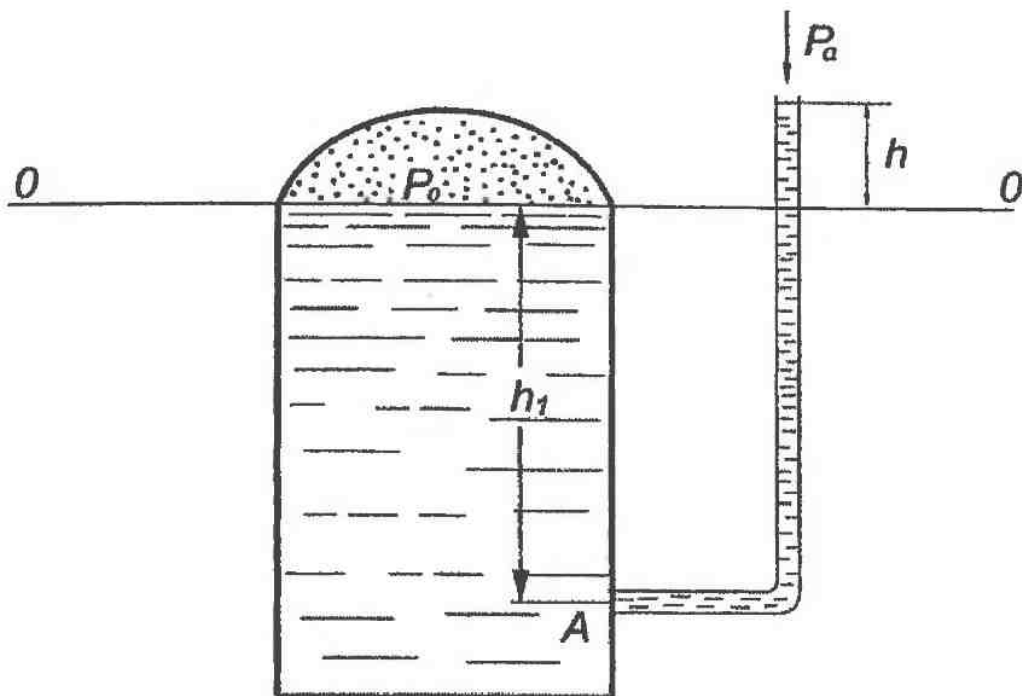
$$2a) p = \rho g h = 9810 \frac{H}{M^3} \cdot 0,5 M = 4905 \frac{H}{M^2};$$

$$2б) p = \rho g h = 9,81 \frac{кН}{M^3} \cdot 0,5 M = 4,905 \frac{кН}{M^2};$$

$$3) p = \rho g h = 0,001 \frac{кГ}{см^3} \cdot 50 см = 0,05a.$$

2.3-есеп.

Жабық ыдыстағы сұйықтың деңгейімен, пьезометрдегі су бағанасының айырма биіктігін анықтаңыз. Ыдыстағы су бетіне $p_0 = 1,05a$ абсолюттік қысым түсіп тұр (1- сурет).



1-сурет

Шешімі: А нүктесі үшін тепе-теңдік шартын түземіз. А нүктесіне сол жағынан түскен қысым,

$$p = p_0 + \rho g h_1;$$

оң жағынан түсетін қысым,

$$p = p_a + \rho g h + \rho g h_1.$$

Теңдеулердің оң жақтарын теңестірген соң

$$p_0 = p_a + \rho g h.$$

Бұл теңдеуді, кез-келген горизонталь кеңістікке орналасқан (мысалы 0-0 жазықтығы, 1- сурет) нүктелер үшін тепе-теңдік шартын түзу арқылы да алуға болады. Пьезометрден мән алудың басы ретінде 0-0 жазықтығын қабылдап, жоғарыда алынған теңдеуден

пьезометрдегі су бағанасының айырма биіктігін h табамыз. Биіктік $h = \frac{P_0 - P_a}{\rho g}$ тең, яғни пьезометр сұйықтың бағаналық биіктігімен

көрсетілген манометрлік қысым мәнін өлшейді.

Есептің шарты бойынша

$$P_0 - P_a = 1,05 - 1 = 0,05_a = 0,05 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \frac{H}{M^2} = 4905 \frac{H}{M^2};$$

$$\rho g = \gamma = 9810 \frac{H}{M^3} \text{ деп қабылдап, айырма биіктікті табамыз,}$$

$$h = \frac{P - P_a}{\rho g} = \frac{4905}{9810} = 0,5 \text{ м.}$$

2.4-есеп.

Пьезометр көрсетуі $h = 0,8 \text{ м}$ (1-сурет) болғандағы P_0 қысымын анықтаңыз. Манометрлік артық қысым неге тең?

Жауабы:

$$P_0 = 204048 \frac{H}{M^2} = 20800 \frac{K\Gamma}{M^2};$$

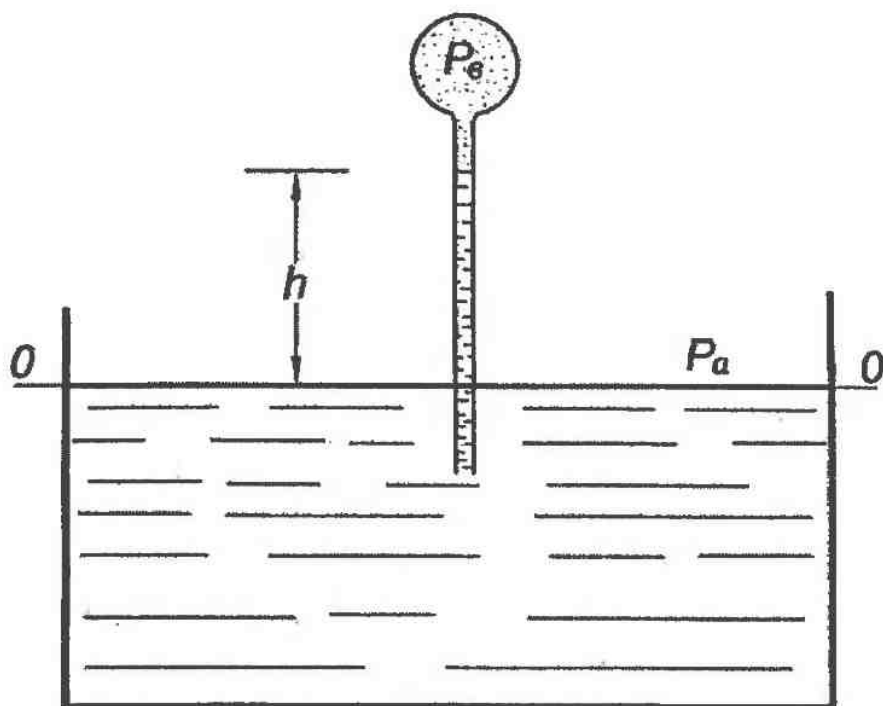
$$P_{ар.} = 7848 \frac{H}{M^2} = 800 \frac{K\Gamma}{M^2}.$$

2.5-есеп.

Баллон (түтікше) ішіндегі ауаның абсолюттік қысымы $P_e = 0,94a$ (2-сурет) болғандағы, вакуумметрдегі судың қаншалықты биіктікке көтерілетінін анықтаңыз. Вакуумметрмен қандай қысым өлшенетінін түсіндіріңіз.

Шешімі:

0-0 горизонталь жазықтығына салыстырмалы тепе-теңдік шартын түземіз. Іш жағынан әсер ететін гидростатикалық қысым,



2-сурет

$$P_{0-0} = P_0 + \rho gh.$$

Сырт жағынан әсер ететін, 0-0 жазықтықтағы гидростатикалық қысым,

$$P_{0-0} = P_a.$$

Жүйе тепе-теңдік қалыпта тұратындықтан,

$$P_a = P_0 + \rho gh.$$

немесе

$$h = \frac{P_a - P_0}{\rho g}.$$

Сондықтан вакуумметр атмосфераға дейін жетпей тұрған қысымды немесе сұйықтың бағаналық биіктігімен көрсетілген вакуумды өлшейді.

Сандық мәндерін қойсақ:

$$P_a - P_0 = 1 - 0,94 = 0,06a = 0,06 \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 5886 \frac{H}{M^2}.$$

$\gamma = \rho g = 9810 \frac{H}{M^3}$ кезіндегі сұйықтың көтерілу биіктігі

$$h = \frac{5886}{9810} = 0,6M.$$

2.6-есеп.

Вакуумметр көрсеткіші $h = 0,7M$ су болғандағы баллон ішіндегі (2-сурет) абсолюттік қысымды $P_{абс}$ және вакуумды $P_{вак}$ анықтаңыз.

Шешімі:

Вакуумды анықтау үшін төмендегі формуланы пайдаланамыз:

$$P_{вак} = P_a - P_с.$$

Мұнда, $P_с = P_a - \rho gh$ болғандықтан теңдеу мына түрге енеді

$$P_{вак} = P_a - P_a + \rho gh = \rho gh.$$

Сонда,

$$P_{вак} = 9810 \frac{H}{M^2} \cdot 0,7M = 6867 \frac{H}{M^2}$$

немесе

$$P_{вак} = 1000 \frac{KГ}{M^3} \cdot 0,7M = 700 \frac{KГ}{M^2}.$$

Баллон ішіндегі абсолюттік қысым

$$P_{абс} = P_a - \gamma h = 10000 \frac{KГ}{M^2} - 1000 \frac{KГ}{M^3} \cdot 0,7M = 9300 \frac{KГ}{M^2}$$

немесе

$$P_{абс} = 98100 \frac{H}{M^2} - 9810 \frac{H}{M^2} \cdot 0,7M = 91233 \frac{H}{M^2}.$$

2.7-есеп.

А баллондағы манометрлік (P_A) және абсолюттік қысымды ($P_{абс}$) екі жағдайға есептеңіз (3-сурет):

1) баллонда және сол жақтағы түтікшеде – су ($\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3 = 1000 \text{ КГ/м}^3$), ал оң жақтағы түтікшеде – сынап ($\gamma_{сынап} = 133416 \text{ Н/м}^3 = 13600 \text{ КГ/м}^3$);

2) баллонда және сол жақтағы түтікшеде – ауа ($\gamma_{ауа} = 12,65 \text{ Н/м}^3 = 1,29 \text{ КГ/м}^3$), ал оң жақтағы түтікшеде су.

Анықтау керек: екінші жағдайда есептелген түтікшедегі манометрлік қысым ауаның қысым бағанасының қанша пайызын құрайды?

Ескерту: есепті шешу кезінде $h_1 = 70$ см, $h_2 = 50$ см деп қабылдаңыз.

Жауабы:

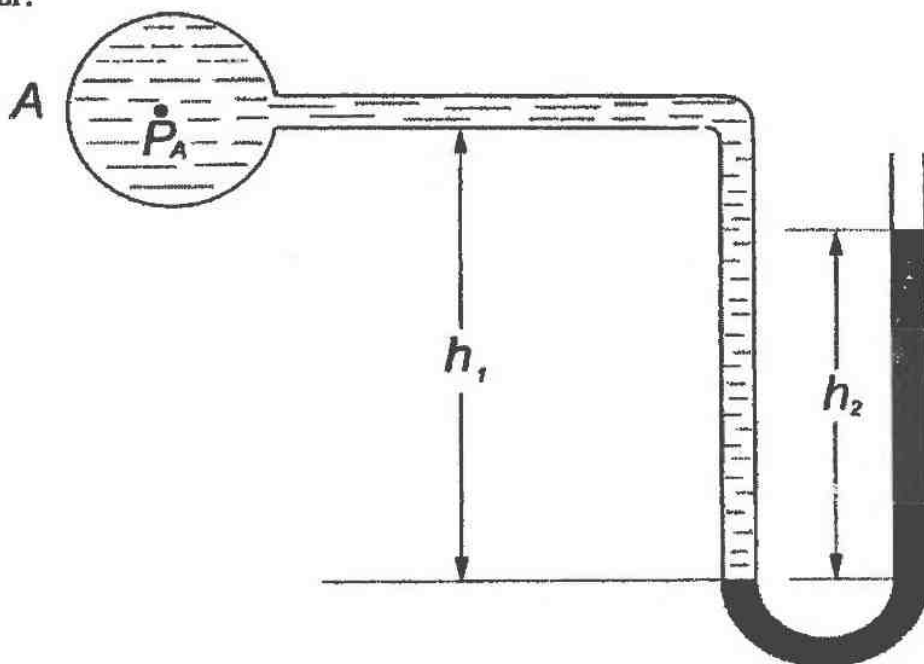
$$1) P_A = 59833 \text{ Н/м}^2 = 6100 \text{ кГ/м}^2; P_{A,abc} = 157933 \text{ Н/м}^2 = 16100 \text{ кГ/м}^2;$$

$$2) P_A = 4896 \text{ Н/м}^2 = 499 \text{ кГ/м}^2; P_{A,abc} = 102996 \text{ Н/м}^2 = 10499 \text{ кГ/м}^2.$$

Ауа қысымы, манометрлік қысымның 0,18 %-ын құрайды, соған орай, ауаның бағаналық қысымын бұдан кейін қарастырмасақ та болады. Сонда, $P_A = 4905 \text{ Н/м}^2 = 500 \text{ кГ/м}^2$, $P_{A,abc} = 103005 \text{ Н/м}^2 = 10500 \text{ кГ/м}^2$.

2.8-есеп.

А баллондағы мұнайдың манометрлік қысымы $P_A = 0,5a$ болса, (3- сурет), мұнай бағанасының биіктігі ($\gamma_{\text{мұн}} = 7848 \text{ Н/м}^3 = 800 \text{ кГ/м}^3$) $h_1 = 60$ см болса, онда сынап бағанасының биіктігі h_2 қандай болады?



3-сурет

Жауабы:

$$h_2 = 43,7 \text{ см}$$

2.9-есеп.

Манометр бойынша сынап бағанасының биіктігі $h_2=50$ см болса, құбырдың А нүктесіндегі артық қысымын (P_{ap}) анықтаңыз. Құбырдың ортасы, сынап пен судың арасын бөлген сызықтан $h_1=80$ см төмен орналасқан (4- сурет).

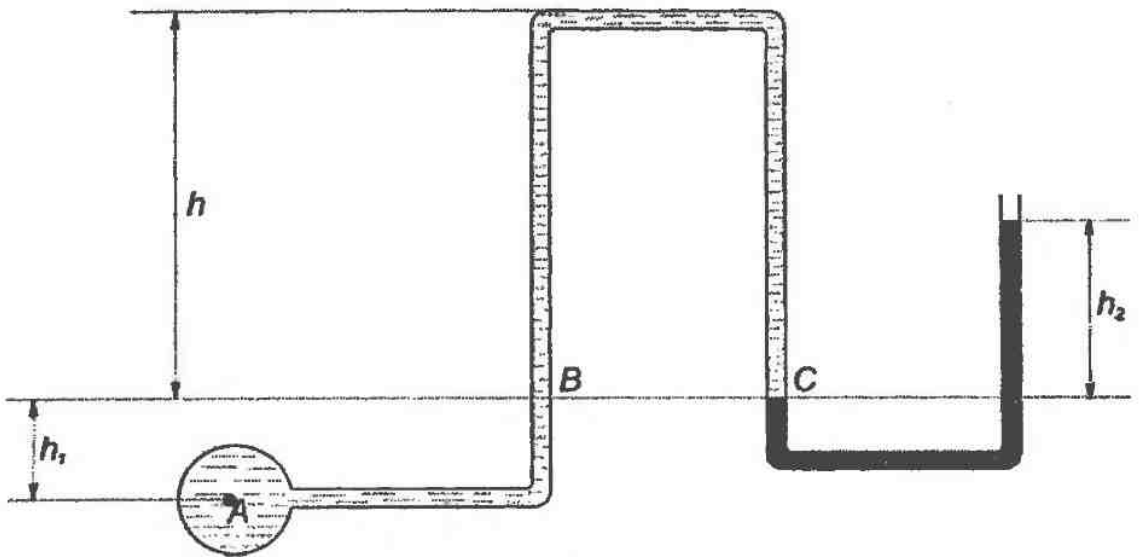
Шешімі:

В нүктесіндегі қысымды табамыз: $P_B = P_A - \rho g h_1$, себебі В нүктесі А нүктесінен h_1 мәнге жоғары орналасқан. С нүктесіндегі қысым да В нүктесіндегідей болады, су бағанасының қысымы h өзара тең әсер етеді, яғни

$$P_{с.abc} = P_{A.abc} - \rho g h_1.$$

С нүктесіндегі қысым

$$P_{с.abc} = P_a + \rho_{сынап} g h_2.$$



4- сурет

Екі теңдеуді теңестірген соң:

$$P_{A.abc} - \rho g h_1 = P_a + \rho_{сынап} g h_2$$

Бұл жерден артық қысым

$$P_{ap} = P_{A.abc} - P_a = \rho_{сынап} g h_2 + \rho g h_1.$$

$\rho_{\text{сын}}g = \gamma_{\text{сын}} = 133416 \text{ Н/м}^3$ және $\rho g = 9810 \text{ Н/м}^3$ мәндерін орындарына қойсақ,

$$P_{\text{ар}} = 133416 * 0,50 + 9810 * 0,80 = 74576 \text{ Н/м}^2 = 7600 \text{ кГ/м}^2 \\ = 0,76 \text{ кГ/см}^2.$$

2.10-есеп.

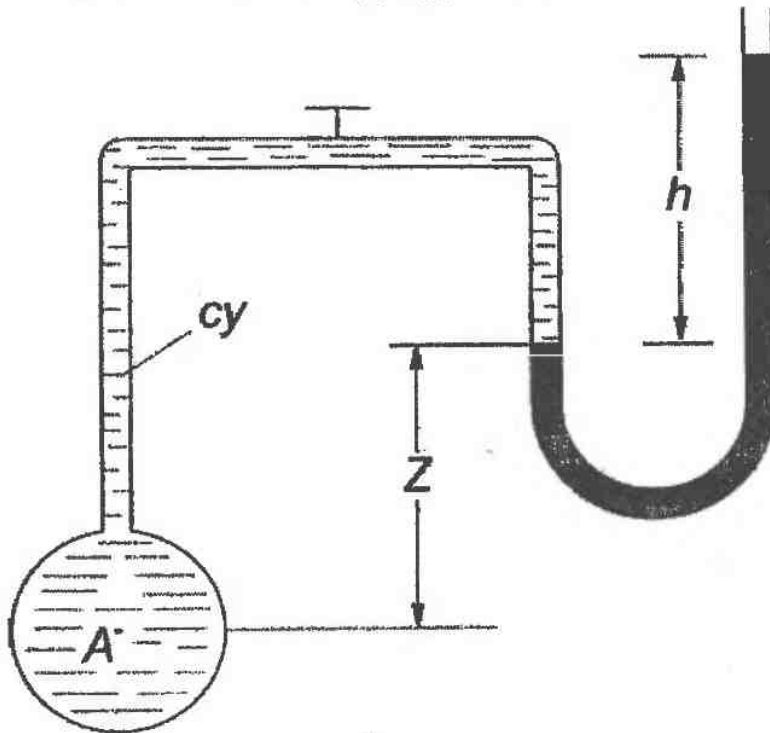
Егер құбырдың орналасу ортасы А (4-суретте көрсетілгенмен салыстыру бойынша), су және сынап арасындағы бөлу сызығынан $h_1 = 40 \text{ см}$ жоғары тұрғанда сынап бағынасының биіктігін h_2 анықтаңыз. Құбырдағы манометрлік артық қысымды, алдыңғы есептегідей 74576 Н/м^2 ($0,76 \text{ кГ/см}^2$) деп қабылдаңыз.

Жауабы:

$$h_2 \approx 30,9 \text{ см.}$$

2.11-есеп.

Құбырдағы артық қысым $P=39240 \text{ Н/м}^2$ (5-сурет) және $h=24 \text{ см}$ болғанда (жүйе тепе-теңдік қалыпта тұрған кездегі), манометрдегі сынап деңгейі қандай биіктікте (z) тұрақталатынын анықтаңыз.



5-сурет

Жауабы:

$$z = 60 \text{ см.}$$

2.12-есеп.

Жабық ыдыстағы (6-сурет) майға $P_{ар}$ қысым түсіп тұр. Майдың салыстырмалы үлестік салмағы 0,75.

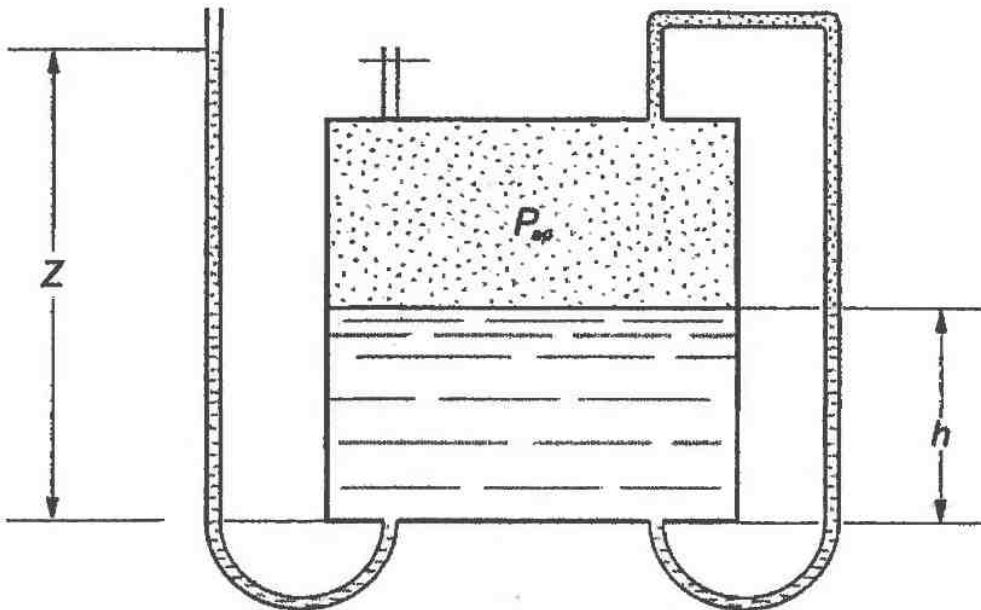
Ыдыстағы майдың деңгейін өлшеу үшін оң жағына пьезометр қойылған. Сол жақтағы пьезометр ыдыстағы қысымды өлшеуге арналған.

Анықтау керек:

1) оң жақтағы пьезометр көрсеткіші $h=80$ см болған кезде ыдыстағы ең үлкен артық қысым $P_{ар}=5886$ Н/м², оны өлшеу үшін сол жақтағы пьезометрді қандай биіктікке (Z) көтеру керек;

2) h мәнін өзгертпей, сол жақтағы пьезометр көрсеткіші $Z=1,2$ м болғанда, ыдыстағы абсолюттік қысым неге тең болар еді?

Ескерту. Салыстырмалы үлестік салмақ дегеніміз – берілген сұйық салмағының, 4⁰С-тағы тұзсызданған су салмағына қатынасы. Қарастырылып отырған жағдайда $\gamma_{май} = 0,75 \gamma_{су}$.



6-сурет

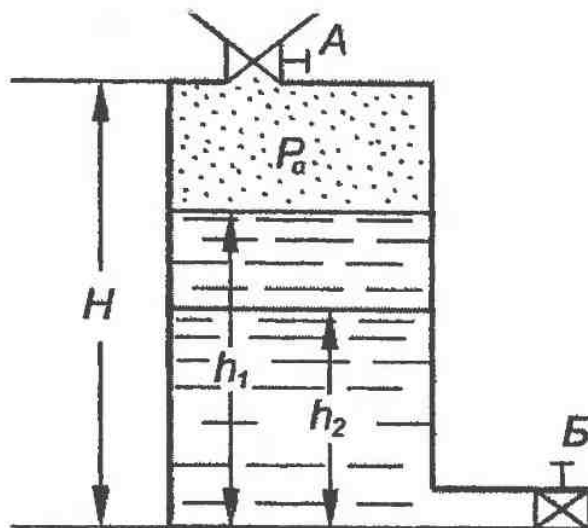
Жауабы:

1) $Z = 1,6$ м; 2) $P_{абс} = 101043$ Н/м² = 10300 кГ/м² = 1,03 кГ/см².

2.13-есеп.

В краны жабық және А краны ашық цилиндр ыдысқа, атмосфералық қысымда, $h = 100$ см биіктікке дейін сынап құйылады.

Ыдыс биіктігі $H = 140$ см. Содан соң А краны жабылып, В краны ашылады. Сынап ыдыстан атмосфераға шыға бастайды. Процесс изотермиялық жүреді деп, ыдыстағы вакуумды (жаңа тұрақталған h_2 деңгейде) және h_2 -нің мәнін анықтаңыз (7 сурет).



7-сурет

Шешімі:

Тепе-теңдік шартын құрамыз $P + \rho_{\text{сын.}} gh_2 = P_a$, мұнда P – сынап қабаты астындағы ыдыс түбіне түсетін абсолюттік қысым. Сонда,

$$P_a - P = \rho_{\text{сын.}} g \cdot h_2. \quad (1)$$

(1) теңдеуде екі белгісіз бар: P және h_2 . h_2 мәні азайғанда сынап астындағы ыдыста абсолюттік қысым төмендейді. Процесс изотермиялық жүреді деп, екінші теңдеуді құрамыз:

$$P_a (H - h_1) = P (H - h_2). \quad (2)$$

(2) - теңдеудегі P орнына (1) - теңдеудегі оның мәнін қоямыз. Сонда

$$P_a (H - h_1) = (P_a - \rho_{\text{сын.}} gh_2) (H - h_2).$$

Қысқартқаннан соң:

$$\rho_{\text{сын.}} gh_2^2 - (P_a + \rho_{\text{сын.}} g H) h_2 + P_a h_1 = 0. \quad (3)$$

Сандық мәндерін орнына қоямыз:

$133416 h_2^2 - (9,81 \cdot 10^4 + 133416 \cdot 1,4) h_2 + 9,81 \cdot 10^4 \cdot 1,0 = 0$,
немесе теңдеудің барлық мүшесін $9,81 \cdot 10^3$ -не қысқартсақ:

$$13,6 h_2^2 - 39,04 h_2 + 10 = 0. \quad (4)$$

Теңдеуді шешеміз: $h_2^1 = 2,20$ м және $h_2^2 = 0,668$ м.

Бірінші шыққан сандық мән біздің жағдайға келмейді, себебі $h_2^1 > H$, сондықтан h_2^2 аламыз,

$$h_2 = 0,668 \text{ м} = 66,8 \text{ см.}$$

(1) теңдеуден вакуумды табамыз

$$P_{\text{вт}} - P = 133416 \cdot 0,668 = 89122 \text{ Н/м}^2 = 0,891 \text{ кг/см}^2 = 0,891 \text{ а.}$$

2.14-есеп.

N ыдысымен жалғанған M ыдысына (8-сурет) B краны жабық тұрғанда $h = 30$ см биіктікке дейін атмосфералық қысымда сынап құйылады. Содан кейін A краны жабылып, B краны ашылады. M ыдысынан сынап атмосферамен жалғасып тұрған ашық N ыдысына құйыла бастайды.

Анықтау керек:

1) егер сол жақтағы ыдыстың көлденең қимасының ауданы $\Omega = 2700 \text{ см}^2$, ал оң жақтағыныкі $\omega = 300 \text{ см}^2$ болса, тепе-теңдік күйге келген соң, M ыдысындағы деңгей h_1 қандай мәнге ие болады? Ыдыс биіктігі $H = 45 \text{ см}$.

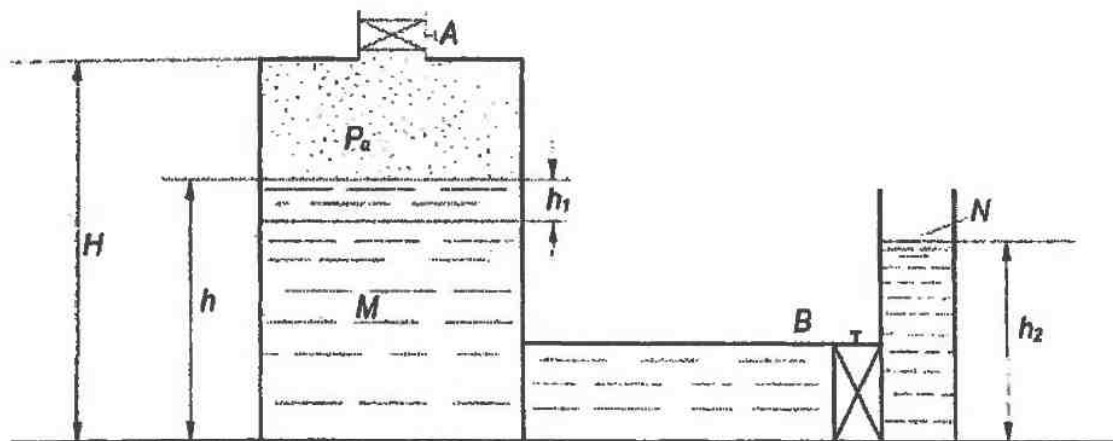
2) оң жақтағы ыдыстың ішіндегі сынап қандай биіктікке (h_2) көтеріледі?

3) M ыдысындағы абсолюттік қысым $P_{\text{абс}}$ неге тең болады?

Ескерту: есеп шығару кезінде процесс изотермиялық түрде жүреді деп қабылдаңыз.

Жауабы:

1) $h_1 = 2,48 \text{ см}$; 2) $h_2 = 22,27 \text{ см}$; 3) $P_{\text{абс.}} = 84091 \text{ Н/м}^2 = 8572 \text{ кг/м}^2$.

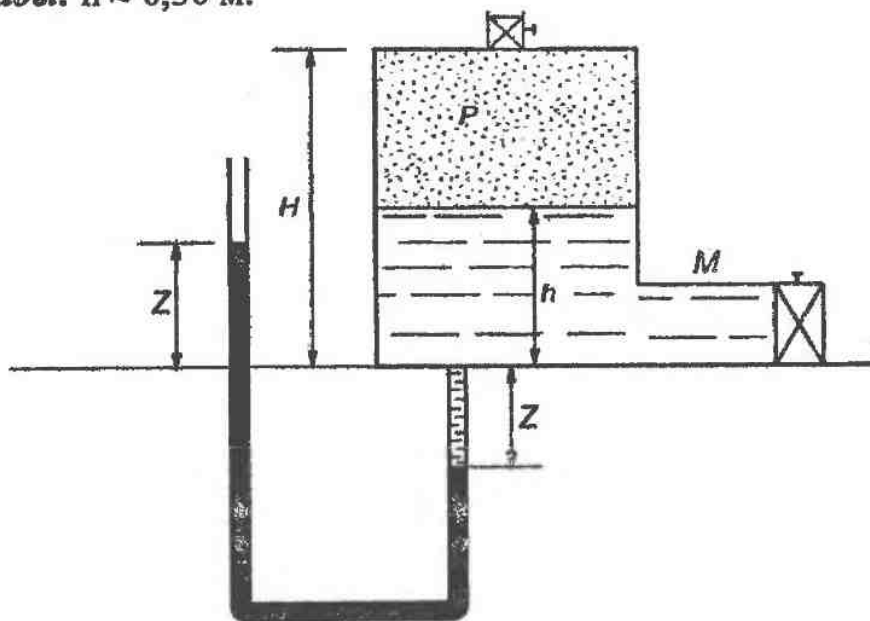


8-сурет

2.15-есеп.

Сыйымдылықтың түбіне U – кейіпті манометр жалғанған, оның бір жағы ашық және атмосферамен қатынаста (9-сурет). Сыйымдылыққа M құбыры арқылы май ($\gamma_m = 7358 \text{ Н/м}^3 = 750 \text{ кг/м}^3$) құйылады. Бастапқы сәтте сыйымдылықта атмосфералық қысым болды деп, егер манометрдің сол жағындағы түтікшеде сынап бастапқы қалпынан $Z = 26,76 \text{ см}$ көтерілген болса, ал оң жағындағы түтікшеде дәл сондай мәнге сынап түсіп, майға орнын босатса, май бағанасы биіктігін (h) анықтаңыз. Сыйымдылық биіктігі $H = 1,0 \text{ м}$. Процесс изотермиялы жүреді.

Жауабы: $h \approx 0,50 \text{ м}$.



9-сурет

2.16-есеп.

Сумен толтырылған екі құбырдың, А және В нүктелері арасындағы қысым айырмасын анықтаңыз, егер дифференциалдық манометрдегі сынап бағанасының биіктігі $h_1 - h_2 = h = 40$ см болса.

Сынап пен судың үлестік салмақтары $\gamma_{\text{сын.}} = 133416 \text{ Н/м}^3 = 13600 \text{ кг/м}^3$, $\gamma_{\text{су}} = 9810 \text{ Н/м}^3$ (10-сурет).

Шешімі:

Манометрдің оң жағындағы су және сынап арасын бөліп тұрған салыстырмалы сызыққа тепе-теңдік шартын түземіз.

Оң жағындағы қысым,

$$P_0 = P_B - \rho g h_2.$$

Сол жағындағы қысым,

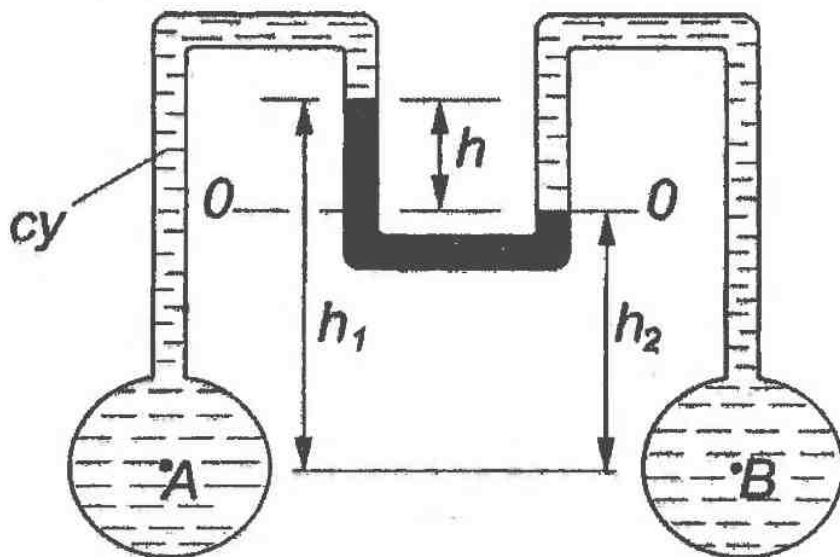
$$P_0 = P_A - \rho g h_1 + \rho_{\text{сын.}} g h.$$

Екі өрнекті теңестіреміз:

$$P_B - \rho g h_2 = P_A - \rho g h_1 + \rho_{\text{сын.}} g h.$$

Қысым айырмасы:

$$P_B - P_A = \rho_{\text{сын.}} g h - \rho g (h_1 - h_2) = h (\rho_{\text{сын.}} g - \rho g) = 0.40(133416 - 9810) = 4.944 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 0,504 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2.$$



10-сурет

2.17-есеп.

Қысым айырмасын, $P_B - P_A = 2,47 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ деп, құбыр ортасын (А нүктесін) 10-суретте көрсетілгендегіден 34 см жоғары орналастырса, В құбырын бұрынғы орнында қалдырса, сынап бағанасының биіктігі (h) неге тең болар еді?

Жауабы: $h = 17,3 \text{ см}$.

2.18-есеп.

Дифференциалдық манометрмен өлшенген сынап бағанасының биіктігі 30 см-ге тең (10-сурет). Егер В құбырының ортасы, А нүктесінен, 63 см биік орналасса, дәл сондай қысым айырмасы болатындай бағана биіктігін h табыңыз.

Жауабы: $h = 35$ см.

2.19-есеп.

Екі құбырөткізгіштің А және В нүктелеріндегі қысым айырмасы ΔP дифференциалды манометр көмегімен анықталған. Олар, сумен толып ағып жатқан құбыр желісінің ортасында орналасқан (10-сурет). Жұмысшы сұйық бағанасының биіктігі h , ал оның салыстырмалы тығыздығы $\delta_{жс} = \frac{\rho_{жс}}{\rho_{су}}$ ($\rho_{жс}$ -жұмысшы сұйықтың

тығыздығы, $\rho_{су}$ - судың тығыздығы) ΔP -ны табыңыз.

$$\text{Берілгені: } h = 25 \text{ см; } \delta_{жс} = \frac{\rho_{жс}}{\rho_{су}} = 0,9;$$

$$\rho_{су} = 1000 \text{ кг/м}^3; \rho_{жс} = 900 \text{ кг/м}^3;$$

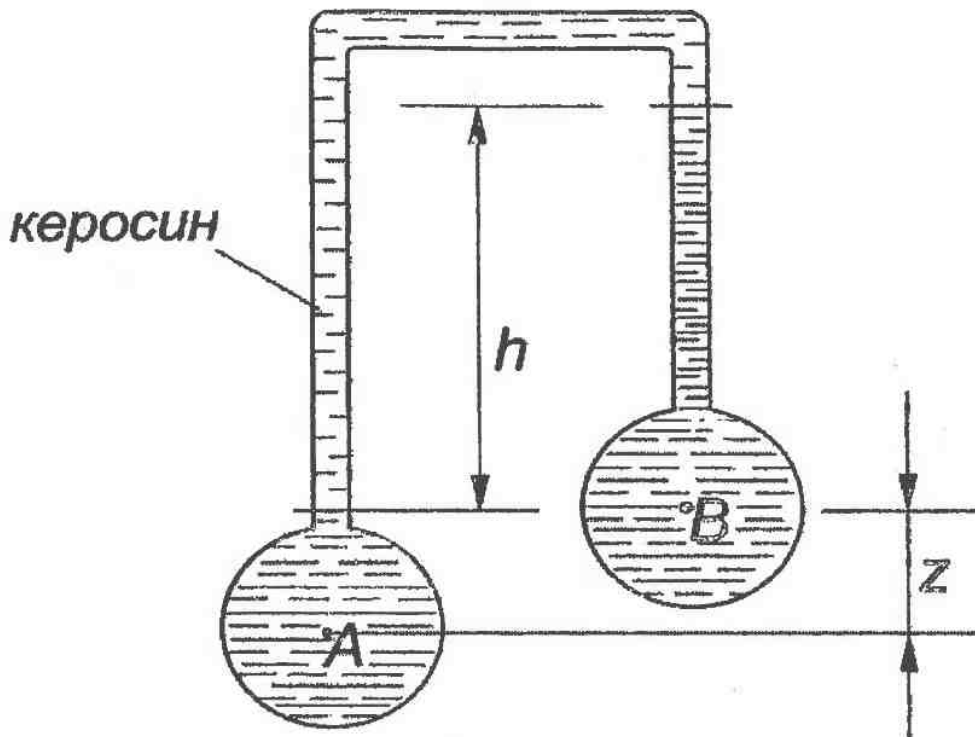
$$\gamma_{су} = 9810 \text{ Н/м}^3; \gamma_{жс} = 8829 \text{ Н/м}^3.$$

2.20-есеп.

11-суретте көрсетілген В нүктесінің А нүктесінен биіктік айырмасы $Z = 15$ см. Жұмыстық сұйықтық ретінде керосин ($\gamma = 7456 \text{ Н/м}^3 = 760 \text{ кг/м}^3$) алынған.

Мұнай баллондардағы қысым айырмасын ($h = 85$ см) табыңыз.

$$\text{Жауабы: } P_A - P_B = 844 \text{ Н/м}^2 = 86 \text{ кг/м}^2.$$



11-сурет

2.21-есеп.

11-суретте келтірілген схема үшін А және В баллондардағы қысым айырмасы $P_A - P_B = 1688 \text{ Н/м}^2$. Баллондар мұнаймен толтырылған ($\gamma_m = 7848 \text{ Н/м}^3$), керосиннің үлестік салмағы ($\gamma_k = 7456 \text{ Н/м}^3$). Қысым айырмасы сол күйінде қалып, баллон орталықтары біріңғай биіктікте жатқандағы құрал көрсеткішін h анықтаңыз.

Жауабы: $h = 2,15 \text{ м}$. Оң жақтағы түтікшедегі керосин деңгейі сол жақтағы түтікшедегіден төмен жатады.

3. Сұйықтың абсолюттік және салыстырмалы тыныштық күйі

3.1-жаттығу.

Сұйықтың салыстырмалы тыныштық күйі дегеніміз не? Беті ашық айналып тұрған цилиндр ыдыстағы су салыстырмалы тыныштық күйде деуге бола ма? – Ия, болады;

Салыстырмалы тыныштық күйдегі сұйық қозғалысқа түсе ме? – Ия, түседі.

3.2-жаттығу.

Гидростатика мәселелерін қарастырғанда идеал сұйық немесе шынайы сұйық деп бөлудің қажеті жоқ, оның мәнісі неде?

Жауабы:

Өйткені сұйыққа күш тек қана тіктеме (нормаль) бойынша әсер етеді.

3.3-жаттығу.

Гидростатикалық қысым деген не? Оның қандай қасиеттері бар? Сұйық тығыздығы қысымға әсер ете ме? – Ия, әсер етеді.

3.4-жаттығу.

Гидростатиканың негізгі дифференциалдық теңдеуіндегі массалық күштің орнына ортадан тепкіш күш пен ауырлық күшін қойып, теңдеуді интегралдауға бола ма? – Ия, болады, орындап көріңіз.

3.5-жаттығу.

Горизонталь, тік және көлбеу орналасқан жазық беттерге түсірілген тыныштық күйдегі сұйықтың қысым күштері қалай табылады? Сызып көрсетіңіз.

3.6-жаттығу.

Көлбеу орналасқан жазық беттердегі қысым орталығының ауырлық орталығынан айырмасы қандай? Сызып көрсетіп, түсіндіріп беріңіз.

3.7-жаттығу.

Цилиндрлі қабырғаларға түсірілген сұйықтың қысым күші қандай? Қысым денесі дегеніміз не? Қысым эпюрасы нені көрсетеді?

3.1-есеп.

Беті ашық цилиндрлі ыдысқа су құйылған. Тұрақты бұрыштық жылдамдықпен ыдыс айнала бастағанда, сұйық ыдыс түбінен 2 м. биіктікке көтерілген. Ыдыс түбіне түсетін манометрлік қысымды қабырғаға қарай әрбір 40 см сайын анықтаңыз. Берілгені: ыдыс диаметрі 2.40 м, айналым саны $n = 120$ айн./мин. Еркін беттің ең төменгі нүктесі ыдыс түбінен қандай қашықтықта (Z_0) орналасады?

Жауабы:

$$P_{r=0} = 2.506 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3 = 0.256 \text{ кГ/см}^2; ; P_{40} = 1,331 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 0.136 \text{ кГ/см}^2; P_{80} = 3.138 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 0.320 \text{ кГ/см}^2; ; P_{120} = 3.924 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 0.400 \text{ кГ/см}^2; Z_0 = 2.554 \text{ м.}$$

3.2-есеп.

Сумен толтырылған диаметрі $d=0,40$ м цилиндрлі ыдыс, тұрақты бұрыштық жылдамдықпен тік өстің бойымен айналып тұр. Анықтау керек:

1) қабырға ішіндегі көтерілген сұйық деңгейі ыдыс ортасындағы еркін беттің ең төменгі нүктесінен $0,45$ м биікте жатқан кездегі бұрыштық айналу жылдамдығы мен айналымдар санын;

2) ыдыстың жақтық бетінде орналасқан сұйық бөлшектерінің айналма жылдамдығын.

Ескерту. Айналма жылдамдық төмендегі формуламен есептелінеді: $u = \omega r$.

Жауабы:

1) $\omega = 5.25 \text{ 1/с}; n = 50 \text{ айн/мин};$

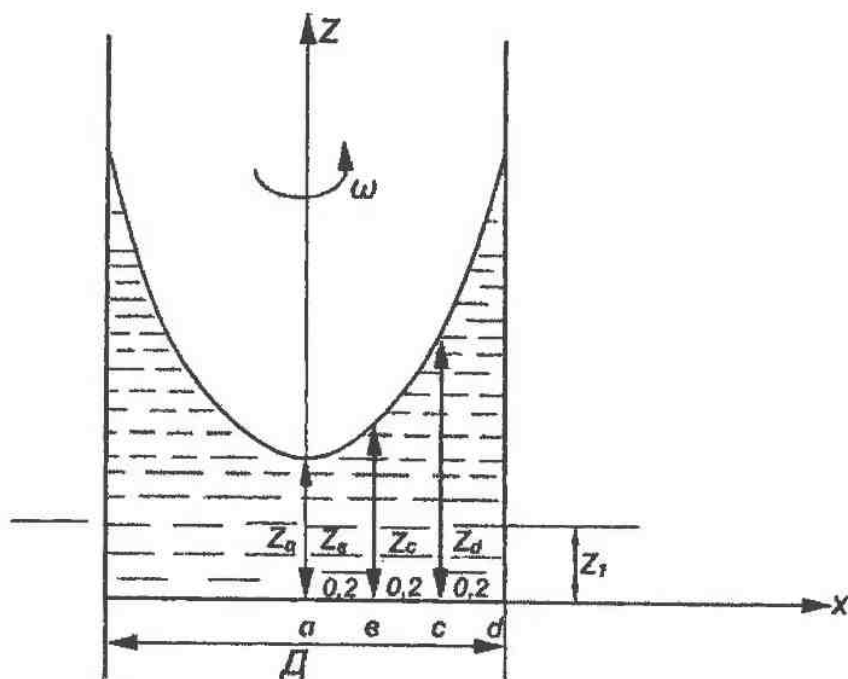
2) $u = 1,05 \text{ м/с.}$

3.3-есеп.

Іші суға толған және тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрған ыдыстың диаметрімен жүргізілген тік жазықтықтағы сұйықтың еркін бетін тұрғызу қажет (12-сурет). Ыдыс диаметрі $D=1,20$ м. Ыдыстың айналым саны $n = 70,5$ айн./мин, координат өсі сызбада көрсетілген a нүктесінен бастап түптік жазықтықпен жүргізілген деп қарастырып b, c, d нүктелерінен тұрғызылған еркін бет Z координаталарын есептеу керек. Еркін беттің ең төменгі нүктесі $Z_0=0,8$ м арақашықтықта орналасқан.

Ыдыс түбінен $Z_1=0,40$ м қашықтықтағы горизонталь жазықтықта орналасқан сұйық бөлшектер үшін ең төменгі және ең жоғарғы манометрлік қысымдарды анықтау керек.

a, b, c, d нүктелеріндегі сұйық бөлшектерінің айналма жылдамдықтарын (u) есептеңіз.



12-сурет

Жауабы:

$$Z_b = 0,91 \text{ м}; Z_c = 1,24 \text{ м}; Z_d = 1,8 \text{ м};$$

өсте $P = 3924 \text{ Н/м}^2 = 0,04 \text{ кг/см}^2$; ыдыстың ішкі бетінде

$$P = 13734 \text{ Н/м}^2 = 0,14 \text{ кг/см}^2:$$

$$u_a = 0; u_b = 1,48 \text{ м/с}; u_c = 2,95 \text{ м/с}; u_d = 4,43 \text{ м/с};$$

3.4-есеп.

Қабырғадағы және ең төменгі еркін бет нүктесіндегі сұйық деңгейінің айырмасы 0,46 м-ден үлкен болмайтындай етіп, тұрақты бұрыштық жылдамдықпен $\omega = 10 \cdot 1/\text{с}$ айналып тұрған ыдыстың диаметрін анықтау керек. Ыдыс қабырғаларында орналасқан бөлшектердің айналма жылдамдығын есептеңіз.

Жауабы:

$$d = 0,60 \text{ м}; u = 3 \text{ м/с}.$$

3.5-есеп.

Диаметрі $D = 120 \text{ см}$ цилиндр ыдыстағы су тереңдігі $h_0 = 160 \text{ см}$. Ыдыс түбінен $Z = 80 \text{ см}$ биіктікте жатқан а, в, с және d нүктелеріндегі толық гидростатикалық қысымды анықтаңыз (13-сурет) (егер ыдыс $n = 90 \text{ айн/мин}$ жылдамдықпен өз өсінен айналса). Нүктелер

радиустары $r_a = 0$, $r_b = 20$ см, $r_c = 40$ см және $r_d = r_0 = 60$ см дөңгелек қимада орналасқан.

Шешімі:

Бұрыштық жылдамдықты анықтаймыз.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 90}{60} = 3,14 \cdot 3 = 9,42 \frac{1}{c}$$

Ыдыс ортасындағы еркін беттің ең төменгі нүктесі мен қабырғадағы ең жоғарғы нүктенің арасындағы деңгей айырмасын мына формуламен табамыз

$$h' = \frac{\omega^2 r_0^2}{2g} = \frac{(9,42)^2 \cdot 60^2}{1962} = 81 \text{ см} = 0,81 \text{ м}.$$

Ыдыстағы бастапқы су деңгейімен салыстырғанда, айналу өсіндегі еркін бет қабатының төмендеуінің ең үлкен мәні $h_{\text{төм}} = \frac{1}{2} h'$ тең болатынын дәлелдейік.

Көлемдер теңдігін қарастырайық.

Сұйық көлемі $\pi r_0^2 h_{\text{төм}} = \pi r_0^2 h' - W_{\text{ABC}}$ Параболоид көлемі $W_{\text{ABC}} = \frac{1}{2} \pi r_0^2 h'$ болғандықтан, $\pi r_0^2 h_{\text{төм}} = \pi r_0^2 h' - \frac{1}{2} \pi r_0^2 h'$, немесе $h_{\text{төм}} = \frac{1}{2} h' = 81/2 = 40,5$ см. Ыдыстағы ең бастапқы су деңгейінен, қабырғадағы су деңгейі көтерілуінің ең үлкен мәні $h_x = h' - \frac{1}{2} h' = \frac{1}{2} h' = 40,5$ см.

Еркін беттегі В нүктесінің ыдыс түбінен алғандағы ең төменгі мәні

$$Z_0 = h_0 - \frac{1}{2} h' = 160 - 40,5 = 119,5 \text{ см}.$$

Толық гидростатикалық қысымды мына формула бойынша табамыз:

а нүктесінде ($r = 0$)

$$P_{r=0} = P_a + \gamma(Z_0 - Z) = 9,81 \cdot 10^4 + 9810(1,195 - 0,8) = 10,61 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 1,08 \text{ кг/см}^2.$$

в нүктесінде ($r_2 = 20$ см)

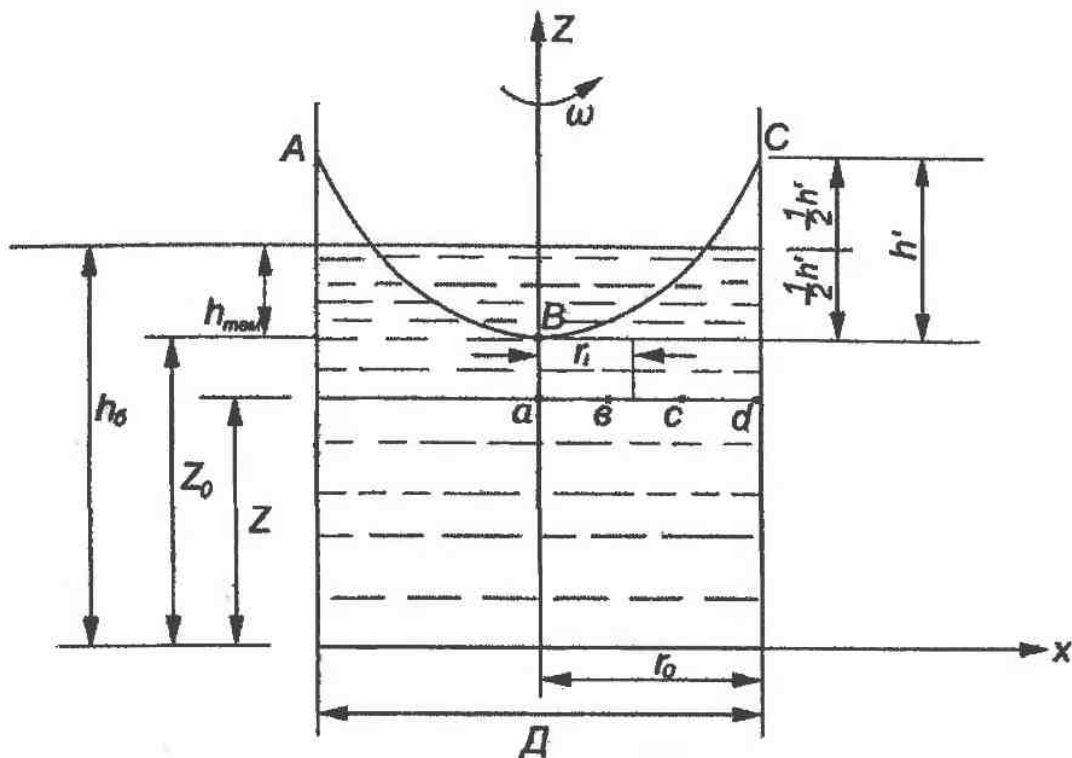
$$h'_{20} = \frac{88,74}{1962} \cdot 400 = 18,1 \text{ см};$$

$$P_{r=20} = 9,81 \cdot 10^4 + 9810(0,5975 - 0,40) + 9810 \cdot 0,181 =$$

$$= 9,81 \cdot 10^4 + 9810 \cdot 0,1975 + 9810 \cdot 0,181 = 9,81 \cdot 10^4 +$$

$$+ 1937,5 + 1775,6 = 101813,1 \text{ Н/м}^2 = 10,18 \cdot 10^4 = \text{Н/м}^2 =$$

$$= 1,038 \text{ кг/см}^2;$$



13-сурет

c нүктесінде ($r_3 = 40\text{см}$)

$$h'_{40} = \frac{88,74}{1962} 1600 = 72,37\text{см};$$

$$\begin{aligned} P_{r=40} &= 9,81 \cdot 10^4 + 9810(0,5975 - 0,40) + 9810 \cdot 0,724 = \\ &= 9,81 \cdot 10^4 + 9810 \cdot 0,1975 + 9810 \cdot 0,724 = 9,81 \cdot 10^4 + \\ &+ 0,1937 \cdot 10^4 + 0,7102 \cdot 10^4 = 10,714 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 1,093\text{кГ/см}^2; \end{aligned}$$

d нүктесінде ($r_4 = 60\text{см}$)

$$h'_{60} = \frac{88,74}{1962} 3600 = 162,83\text{см};$$

$$\begin{aligned} P_{r=60} &= 9,81 \cdot 10^4 + 9810(0,5975 - 0,40) + 9810 \cdot 1,628 = \\ &= 9,81 \cdot 10^4 + 0,194 \cdot 10^4 + 1,5971 \cdot 10^4 = 11,6\text{Н/м}^2 = 1,183\text{кГ/см}^2. \end{aligned}$$

3.6-есеп.

Іші суға толған, радиусы $r = 20$ см цилиндр ыдыс, тұрақты бұрыштық жылдамдықпен тік өс бойымен айналып тұр, өс — ыдыс

өсімен дөп келеді. Айналым саны $n = 150$ айн/мин. Айналып тұрған ыдыстың ең төменгі нүктесінен сұйықтың еркін бетіне дейінгі тереңдік $Z_0 = 35$ см.

Анықтау керек:

1) радиусы $r_1=5$ см, $r_2=10$ см және $r_3=r=20$ см цилиндр түбінде орналасқан нүктелердегі (бүйір қабырғасындағы) толық гидростатикалық қысымды;

2) айналғанға дейінгі ыдыстағы су тереңдігін h_6 ;

3) су сыртқа шашырамайтындай ыдыстың биіктігін.

Жауабы:

$$1) P_1 = 10,18 * 10^4 \text{ Н/м}^2 = 1,038 \text{ кГ/см}^2;$$

$$P_2 = 10,28 * 10^4 \text{ Н/м}^2 = 1,048 \text{ кГ/см}^2;$$

$$P_3 = 10,64 * 10^4 \text{ Н/м}^2 = 1,085 \text{ кГ/см}^2;$$

$$2) h_6 = 60,1 \text{ см};$$

3) ыдыс биіктігі 85,3 см-ге тең немесе одан да үлкен болуы керек.

3.7-есеп.

Диаметрі 60 см және биіктігі 80 см цилиндрлі ыдысқа су құйылған. Су тереңдігі $h_6 = 60$ см.

1) Егер ыдыс $\omega = 9 \frac{1}{c}$ бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрса,

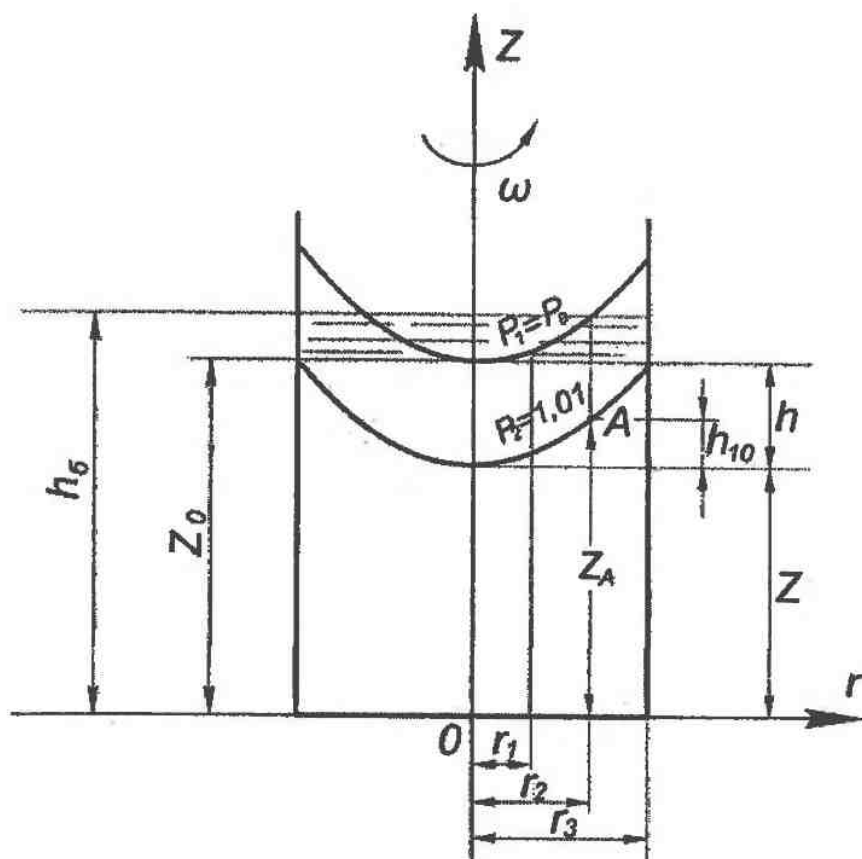
сұйық сыртқа шапшып ағуы мүмкін бе?

2) ыдыс түбінен, қандай қашықтықта Z_0 еркін беттің ең төменгі нүктесі жатады?

3) бүйір қабырғаның биіктігі сұйықтан 10см жоғары болу үшін, ыдысты қандай бұрыштық жылдамдықпен айналдыру керек?

Жауабы:

1) жоқ ақпайды, қабырғадағы артық биіктік 1,42см; 2) $Z_0 = 41,42$ см; 3) $\omega = 6,6 \frac{1}{c}$.



14-сурет

3.8-есеп.

Сумен толтырылған және тұрақты бұрыштық жылдамдықпен, $\omega = 8,1 \frac{1}{с}$ айналып тұрған цилиндрлі ыдыс диаметрі бойынша

жүргізілген тең қысымдар бетін (14-сурет), $P_1 = P_a = 98100 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ кГ/см}^2$; $P_2 = 99910 \text{ Н/м}^2 = 1,01 \text{ кГ/см}^2$ тұрғызу қажет.

Шеңбердің, $r_1 = 5 \text{ см}$, $r_2 = 10 \text{ см}$ және $r_3 = 15 \text{ см}$ радиусына сәйкес орналасқан, беттердің ординаталарын есептеңіз.

Айналу кезінде, еркін беттің ең төменгі нүктесі $Z_0 = 0,3 \text{ м}$ қашықтықта орналасқан. Ыдыс диаметрі $d = 0,3 \text{ м}$. Ыдыстың беті ашық.

А нүктесіндегі қысым мәнін тексеріңіз ($r_2 = 10 \text{ см}$).

Шешімі:

Тең қысымдар бетінің теңдеуі

$$\frac{1}{2}\omega^2(x^2 + y^2) - gz = C$$

немесе

$$\frac{1}{2}\omega^2 r^2 - gz = C. \quad (1)$$

Мұндағы, $x^2 + y^2 = r^2$.

Тұрақты C -ның мәнін табайық.

Мысалы:

а) $p_1 = p_a$ тең қысымдар беті үшін (еркін бет).

$C = C_0$ табу үшін, еркін беттің төменгі нүктесінде ($r=0$) $z=z_0$ екенін ескереміз. Сонда (1) теңдеуден $C = C_0 = -gz_0$ екенін білеміз.

Еркін беттің теңдеуі мына түрге келеді.

$$\frac{1}{2}\omega^2 r^2 - gz = -gz_0.$$

Бұдан

$$z = z_0 + \frac{\omega^2 r^2}{2g}. \quad (2)$$

r -дің әртүрлі мәндерін ($r=5, 10, 15$ см) (2) - теңдеуге қоя отырып Z мәнін табамыз. Z -ті жоғары қарай бағыттап, тұрақты $\omega = 8,1$ 1/с бұрыштық жылдамдықпен айналғандағы сұйықтың еркін бетін аламыз.

б) $p_2 = 99910$ Н/м² (1,01 кГ/см²) тең қысымдар беті үшін.

$p_2 = p_a + \rho gh$ болғандықтан (h – су тереңдігі), оны былай жазуға болады: $99910 = 9,81 * 10^4 + 9810 h$. Бұдан $h = 1962/9810 = 0,20$ м. Беттің ең төменгі нүктесінің ординатасы $Z = Z_0 - h = 0,30 - 0,20 = 0,10$ м. $C = C_1$ табамыз, ол $Z = 0,10$ м жағдайында $r = 0$. Сондықтан (1) теңдеуден $C_1 = -0,10 g$ деп аламыз. Тең қысымдар бетінің теңдеуі мына түрге енеді,

$$\omega^2 r^2 / 2 - gz = -0,10 g, \text{ немесе } Z = 0,1 + \omega^2 r^2 / 2g. \quad (3)$$

г-ге әр түрлі мәндер бере отырып, Z координаттарды есептеп, ыдыс түбінен жоғары қарай нүктелерді саламыз (14-сурет).

А нүктесіндегі толық қысым,

$$p_A = p_a + \gamma(Z_0 - Z) + \gamma h_{10}$$

мұндағы $Z_0=0,3$ м; $Z=0,1$ м.

$$h_{10} = \frac{\omega^2 r^2}{2g} = \frac{8,1^2 * 10^2}{19,62} = 6,68 \text{ см.}$$

Қарастырылып отырған нүкте координатасы
 $Z_A = (Z_0 - Z) + h_{10} = 26,68 \text{ см.}$

А нүктесіндегі қысым,

$$p_A = 9,81 * 10^4 + 9810 * 0,1 = 99910 \text{ Н/м}^2 = 1,01 \text{ кг/см}^2.$$

Жауабы:

$P_1 = p_a$ болғанда: $Z_5 = 30,84$ см, $Z_{10} = 33,35$ см, $Z_{15} = 37,53$ см;

$P_2 = 99910 \text{ Н/м}^2$ болғанда: $Z_5 = 10,84$ см, $Z_{10} = 13,35$ см, $Z_{15} = 17,53$ см.

4. Жазық және қисық беттерге түсетін сұйықтың қысым күші

4.1-жаттығу.

Сұйықтың тік төртбұрышты жазық фигураға әсер ететін гидростатикалық қысымын, ауырлық және қысым орталықтарын сызып көрсетіңіз.

4.2-жаттығу.

Тік жазық фигураның қысым орталығының ауырлық орталығымен байланысы қандай?

Жауабы:

$$y_d = y_c + I_0 / \omega y_c$$

4.3-жаттығу.

Су ішіне орналасқан әртүрлі жазық фигуралардың инерция моменттерін, сонымен бірге ауырлық және қысым орталықтарының шамаларын кесте түрінде сызып келтіріңіз.

4.4-жаттығу.

Параллель өске байланысты инерция моментін анықтайтын Гюйгенс-Штейнердің теоремасын жазық фигураның қысым орталығын табу үшін қалай жазады?

Жауабы:

$$I_x = I_0 + \omega y_c^2.$$

4.1-есеп.

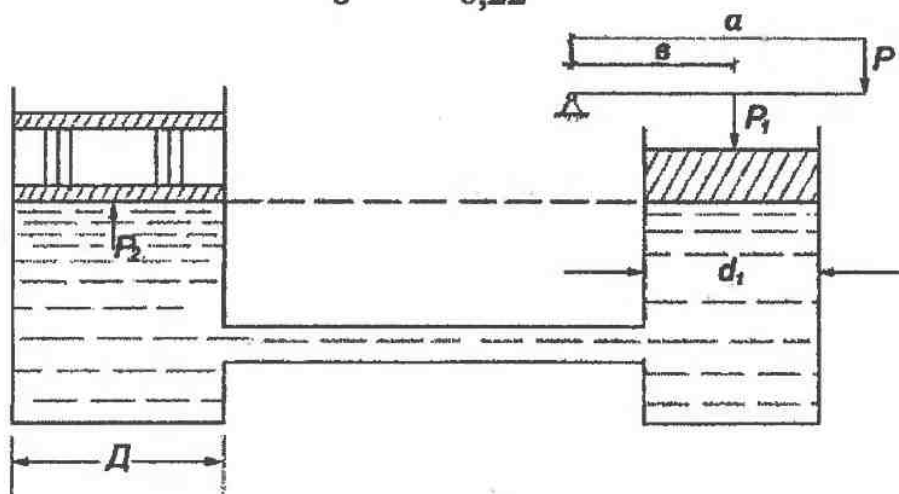
P_2 сығу күшін алу үшін, гидравликалық пресстің үлкен поршенінің диаметрін D анықтаңыз. Рычагтың соңғы жағына түсетін күш P -ға тең. Сорғы поршенінің диаметрі d_1 . Рычагтың үлкен иінінің ұзындығы a , ал кішісінікі b -ға тең (15-сурет). Пайдалы әсер коэффициенті η .

Берілгені: $P=170$ Н; $d_1=40$ мм; $a=1,0$ м; $b=0,22$ м; $P_2=25$ кН; $\eta=0,88$.

Шешімі:

Сорғы поршеніне түсетін қысым күшін анықтаймыз:

$$P_1 = P \frac{a}{b} = 170 \frac{1,0}{0,22} = 772,7 \text{ Н.}$$



15-сурет

$\frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_2}{\omega_2}$ немесе $\frac{P_1}{d_1^2} = \frac{P_2}{D^2}$ шартына орай үлкен поршенінің диаметрін анықтауға болады

$$D = \sqrt{\frac{P_2 \cdot d_1^2}{P_1 \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{25000 \cdot 0,04^2}{772,7 \cdot 0,88}} = 0,24 \text{ м.}$$

4.2-есеп.

Жұмысшының гидравликалық прессте туғызатын сығу күшінің P_2 шамасын анықтау қажет. Берілгені: рычагтың үлкен иіні $a=1\text{ м}$, кішісі $b=0,2\text{ м}$, пресс поршенінің диаметрі $D=200\text{ мм}$, сорғы поршенінің диаметрі $d_1=25\text{ мм}$, жұмысшының күші $P=147\text{ Н}$. Пайдалы әсер коэффициенті $\eta=0,88$ (15-сурет).

Шешімі:

Сорғы поршеніне келетін қысым күшін анықтаймыз,

$$P_1 = P \frac{a}{b} = 147 \frac{100}{20} = 735\text{ Н} = 75\text{ кГ}.$$

Поршеннің ауданы

$$\omega = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 4,906\text{ см}^2.$$

Сорғы поршеніндегі гидростатикалық қысым

$$p = \frac{P_1}{\omega} = \frac{735}{4,906} = 149,82 \cdot 10^4\text{ Н/м}^2 = 15,27\text{ кГ/см}^2.$$

Пресс поршенінің ауданы

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314,0\text{ см}^2.$$

Сығу күшін анықтаймыз

$$P_2 = \eta p \Omega = 0,88 \cdot 149,82 \cdot 314 = 41398\text{ Н} = 41,4\text{ кН} = 4,22 \cdot 10^3\text{ кГ}.$$

Сығу күшін бірден былай да табуға болады:

$$P_2 = \eta P \frac{a}{b} \left(\frac{D}{d_1} \right)^2 = 0,88 \cdot 147,8 \cdot \frac{100}{20} \left(\frac{20}{2,5} \right)^2 = 41395\text{ Н} = 41,4\text{ кН} = 4,22 \cdot 10^3\text{ кГ}.$$

4.3-есеп.

$P_2 = 78480\text{ Н} = 8 \cdot 10^3\text{ кГ}$ күш алу үшін, гидравликалық пресстің қолұстарына қандай күш (P) түсіру керектігін анықтау қажет. Кіші

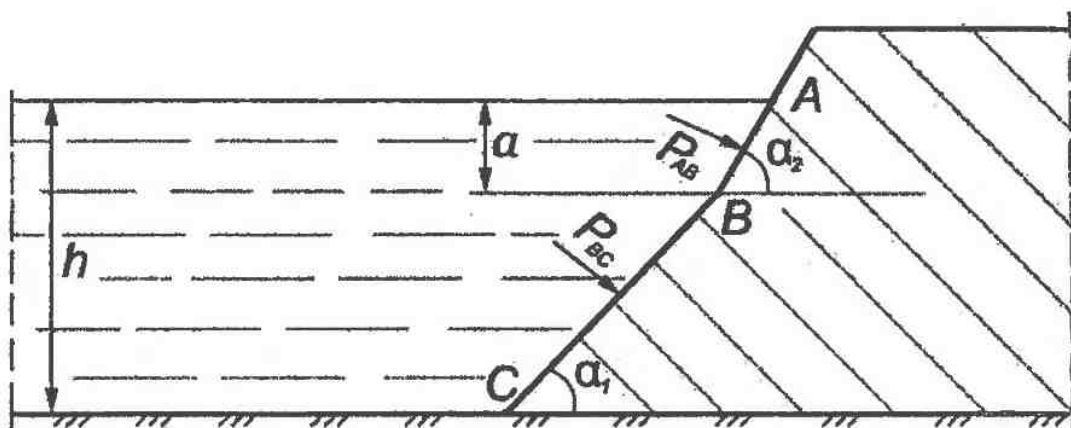
поршеннің диаметрі $d_1=25\text{мм}$, үлкен поршеннің диаметрі $D=200\text{ мм}$. Екі поршень де біркелкі деңгейде жатыр. Поршень қозғалысы кезіндегі үйкелісті және олардың салмағын есепке алмаса да болады. Рычагтың үлкен иіні $a=1,0\text{ м}$, кіші иіні $b=0,2\text{ м}$ -ге тең (алдыңғы есептегі суретке қараңыз).

Жауабы:

$$P=278,7\text{ Н}=28,4\text{ кг}.$$

4.4-есеп.

Берілген қабырға үшін судың гидростатикалық қысым күшін анықтаңыз (16-сурет).



16-сурет

$$a=1,4\text{ м}; \quad b=2,0\text{ м}; \quad \ell_{AB}=1,62\text{ м}; \quad \alpha_2=60^\circ; \quad h=2,5\text{ м}; \quad \ell_{BC}=1,56\text{ м}; \\ \alpha_1=45^\circ.$$

Шешімі:

Жазық қабырғаға түсетін толық қысым күші төмендегі байланыстылықпен анықталады

$$P = \rho g h_{a.op.} \cdot \omega,$$

мұнда, ρ -су тығыздығы, $\rho=1000\text{ кг/м}^3$;

g -еркін түсу үдеуі, $g=9,81\text{ м/с}^2$;

$h_{a.op.}$ -ауырлық орталығының тереңдігі,

$$h_{a.op.} = \frac{h}{2};$$

ω - етім қимасының ауданы, м^2 ,

$$\omega = b \cdot h.$$

Сурет бойынша жазықтық екі қабырғадан тұрады. Сол себепті екі қабырғаны бөлек-бөлек қарастырайық. АВ қабырғасына түсетін қысым күшін анықтаймыз,

$$P_{AB} = \rho g \cdot h_{a.op.AB} \cdot \omega_{AB} = 9,81 \cdot 0,7 \cdot 3,24 = 22,25 \text{ кН}.$$

$$\rho g = \gamma - \text{үлестік салмақ, } \gamma = 1000 \cdot 9,81 = 9810 \text{ Н/м}^3 = 9,81 \text{ кН/м}^3;$$

$$h_{a.op.AB} = \frac{a}{2} = \frac{1,4}{2} = 0,7 \text{ м};$$

$$\omega_{AB} = e \cdot \ell_{AB} = 2 \cdot 1,62 = 3,24 \text{ м}^2;$$

$$\ell_{AB} - \text{АВ- қабырғасының ұзындығы, } \ell_{AB} = \frac{a}{\sin \alpha_2} = \frac{1,4}{\sin 60^\circ} = 1,62 \text{ м}.$$

BC қабырғасына түсетін қысым күші,

$$P_{BC} = \rho g \cdot h_{a.op.BC} \cdot \omega_{BC} = 9,81 \cdot 1,95 \cdot 3,12 = 59,68 \text{ кН};$$

$$h_{a.op.BC} = a + \frac{h-a}{2} = 1,4 + \frac{2,5-1,4}{2} = 1,95 \text{ м};$$

$$\omega_{BC} = e \cdot \ell_{BC} = 2 \cdot 1,56 = 3,12 \text{ м}^2;$$

$$\ell_{BC} - \text{BC қабырғасының ұзындығы, } \ell_{BC} = \frac{h-a}{\sin \alpha_1} = \frac{2,5-1,4}{\sin 45^\circ} = 1,56 \text{ м}.$$

Жазық қабырғаға түсетін тең әсерлі қысым күші былай анықталады,

$$P_{AC} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = \sqrt{53,5^2 + 61,64^2} = 81,6 \text{ кН},$$

P_x - x өсіне түсетін күштер жиынтығы,

$$P_x = P_{AB} \cdot \cos \alpha_2 + P_{BC} \cdot \cos \alpha_1 = 22,25 \cdot 0,5 + 59,68 \cdot 0,71 = 53,5 \text{ кН};$$

P_y - y өсіне түсетін күштер жиынтығы,

$$P_y = P_{AB} \cdot \sin \alpha_2 + P_{BC} \cdot \sin \alpha_1 = 22,25 \cdot 0,866 + 59,68 \cdot 0,71 = 61,64 \text{ кН}.$$

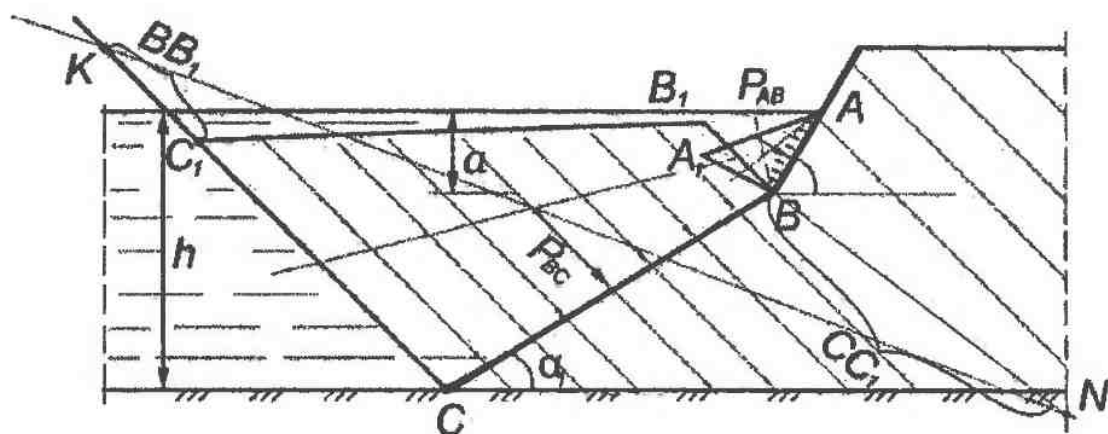
Табылған күштердің қысым орталықтарын төмендегі байланыстылықтардың бірімен анықтаймыз:

$$l_{к.ор} = \frac{2h}{3}, \quad l_{к.ор} = \frac{2\ell}{3} \quad \text{немесе} \quad l_{к.ор} = l_{a.ор} + \frac{J_0}{l_{a.ор} \cdot \omega}.$$

4.5-есеп.

Алдыңғы суреттегі схемаға сызба-есептік тәсілмен есеп жүргізіп тексеріңіз.

Жазық қабырғаға түсетін су қысымының тең әсерлі күші – қысым эпюрасының ауырлық орталығы арқылы өтеді. Судың ауырлық орталығы үшбұрыш биссектрисаларының қиылысында орналасады. Қабырғадағы тең әсерлі күштің түсу нүктесі қысым орталығы болып табылады.



17-сурет

P_{AB} күшінің қысым эпюрасын тұрғызу үшін В нүктесінен жазық АВ қабырғасына перпендикуляр сызық жүргізіп, соның бойынан a -мәніне тең ұзындық түсіріп, табылған нүктені A_1 әрпімен белгілейміз. ABA_1 үшбұрышы P_{AB} күшінің қысым эпюрасын береді. Қысым ортасын табу үшін үшбұрыш биссектрисаларын қиылыстырып нүкте аламыз. Бұл P_{AB} күшінің қысым нүктесін, ал осы нүктеден су бетіне дейінгі аралық $l_{к.ор.АВ}$ ұзындығын беруі керек.

P_{BC} күшінің қысым эпюрасы трапеция түрінде болады. С нүктесінен ұзындығы h перпендикуляр көтеріп C_1 әрпімен

белгілейміз. В нүктесінен ВС қабырғасына перпендикуляр тұрғызып a мәнін саламыз. Табылған нүктені B_1 деп белгілеп, BCC_1B_1 трапециясын аламыз. R_{BC} күшінің қысым ортасын сызба-есептік тәсілмен табу үшін C_1 нүктесінен жоғары қарай трапецияның BB_1 қырына тең ұзындық алып К әрпімен, В нүктесінен төмен қарай CC_1 -ге тең аралық түсіріп, N әрпімен белгілеп, К және N нүктелерін қосамыз. BB_1 және CC_1 ұзындықтарының ортасын тауып бір-бірімен қосамыз. Екі түзу бір жерде қиылысады, табылған нүктеден R_{BC} күшін жүргіземіз.

Сызба-есептік тәсілмен қысым күштерін анықтап, аналитикалық тәсілмен табылған мәндермен (4,4-есеп) салыстырамыз.

$$P_{AB} = \omega_{ABA_1} \cdot \rho \cdot \gamma = 1,134 \cdot 2 \cdot 9,81 = 22,25 \text{ кН}$$

ω_{ABA_1} - ABA_1 үшбұрышының ауданы,

$$\omega_{ABA_1} = \frac{AB \cdot BA_1}{2} = \frac{\ell_{AB} \cdot a}{2} = \frac{1,62 \cdot 1,4}{2} = 1,134 \text{ м}^2;$$

$$P_{BC} = \omega_{BCC_1B_1} \cdot \rho \cdot \gamma = 3,042 \cdot 2 \cdot 9,81 = 59,68 \text{ кН};$$

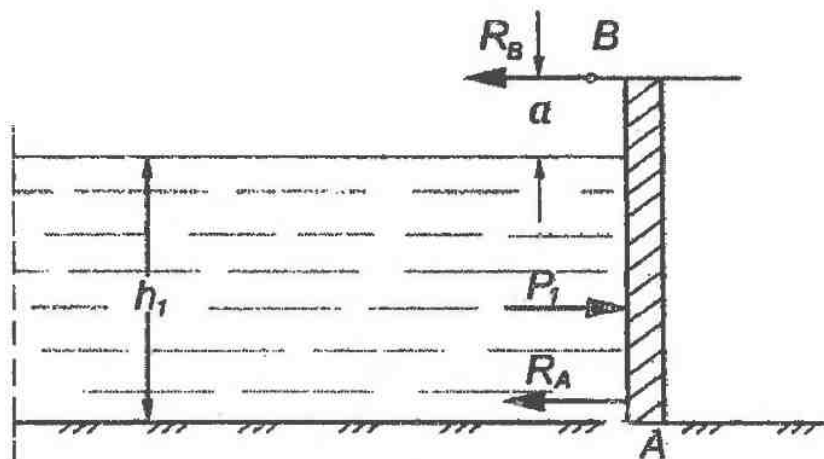
$\omega_{BCC_1B_1}$ - BCC_1B_1 трапецияның ауданы,

$$\omega_{BCC_1B_1} = \frac{BB_1 + CC_1}{2} \cdot BC = \frac{a + h}{2} \cdot \ell_{BC} = \frac{1,4 + 2,5}{2} \cdot 1,56 = 3,042 \text{ м}^2.$$

Тең әсерлі қысым күшінің R_{AC} шамасын сызбалық әдіспен, күшке масштаб бере отырып, векторлар қосындысы ретінде анықтаймыз.

4.6-есеп.

Ені $b = 2$ м тікбұрышты жазық қақпаны жоғарғы жағынаң ілмекпен көтеріп тұрады, ал төменгі жағы горизонталь өс бойынша құрылымның түбімен шарнирлі қосылған. Жоғарғы бьефтегі судың тереңдігі $h_1 = 3$ м, $a = 0,9$ м (18-сурет). Төменгі бьефте су жоқ болған жағдайда, сұйықтың қысымы әсерінен туындайтын А шарниріндегі және В ілмегіндегі реакцияларды (R_A , R_B) анықтаңыз.



18-сурет

Шешімі:

Сол жағынан жазық қақпаға түсетін судың қысым күшін және қысым орталығын анықтаймыз.

Суланған қақпа ауданы,

$$\omega = \nu h_1 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}^2.$$

Қысым күші

$$P_1 = \gamma h_{\text{с.р.}} \cdot \omega = 9,81 \cdot 1,5 \cdot 6 = 88,3 \text{ кН} = 9 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

Ауырлық орталығының тереңдігі

$$h_{\text{а.ор.}} = \frac{h_1}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ м}.$$

Қысым орталығының тереңдігі

$$l_{\text{с.р.}} = \frac{2}{3} h_1 = \frac{2}{3} \cdot 3 = 2 \text{ м}.$$

Ілмектің реакциясын табу үшін, А шарниріне байланысты күш моменттерінің теңдеуін жазамыз:

$$P_1 \cdot (h_1 - l_{\text{с.р.}}) - R_B (h_1 + 0,9) = 0$$

немесе

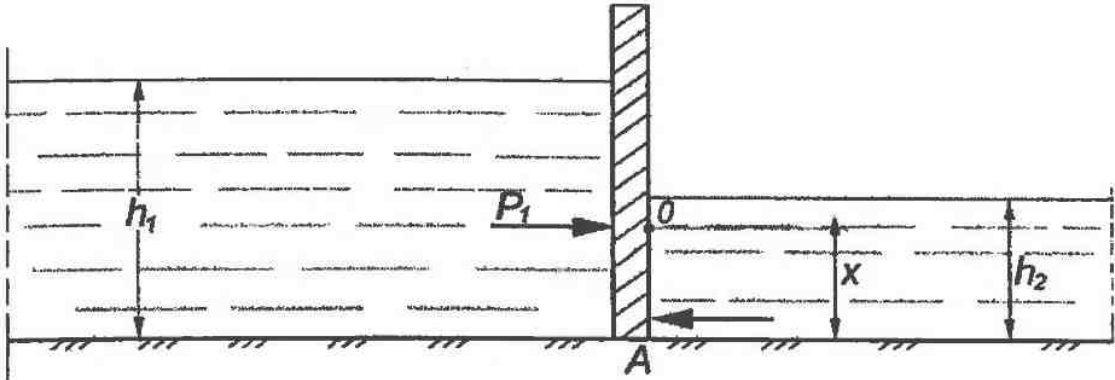
$$R_B = \frac{P_1 \cdot (h_1 - l_{\text{с.р.}})}{h_1 + 0,9} = \frac{88,3 \cdot (3 - 2)}{3,9} = 22,64 \text{ кН} = 2,31 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

Шарнирдегі реакция төмендегі байланыстылықпен анықталады,

$$P_1 = R_B + R_A, \text{ яғни } R_A = P_1 - R_B = 88,3 - 22,64 = 65,66 \text{ кН} = 6,69 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

4.7-есеп.

Жоғарғы бьефтегі су деңгейі $h_1 = 2$ м-ден қалай аса бастайды, сол сәтте жазық тік бұрышты қақпа автоматты түрде ашылу үшін, 0-0 айналу өсін арна түбінен қандай x арақашықтықта орналастыру қажет. Төменгі бьефтегі су деңгейі $h_2 = 0,9$ м (19-сурет).



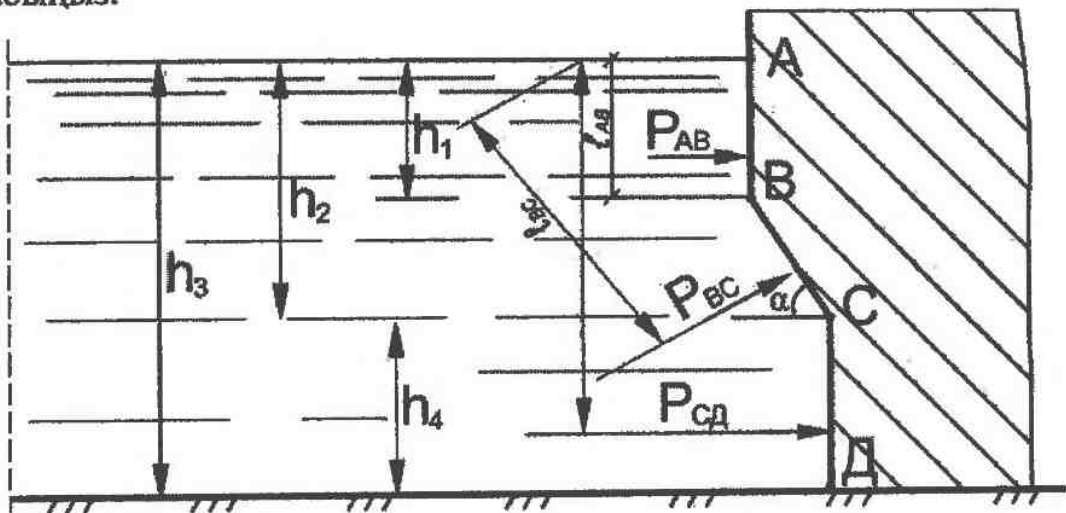
19-сурет

Жауабы:

$$x = 0,76 \text{ м.}$$

4.8-есеп.

Жазық қабырғаның АВ, ВС және СД қырларына судың қысым күшін сызба-есептік (графо-аналитикалық) тәсілмен анықтаңыз (20-сурет), және де әсер ететін күштердің қысым орталықтарын табыңыз.



20-сурет

Берілгені: $h=6$ м, $h_1=1,5$ м,

$h_2=2,8$ м, $h_3=2,7$ м,

BC қабырғасының жантаяу бұрышы $\alpha=60^\circ$, қабырғаның ені $b=1,5$ м. Аналитикалық тәсілмен есепті тексеріңіз.

Жауабы:

$P_{AB}=16,55$ кН = $1,687 \cdot 10^3$ кГ;

$l_{\text{кор.1}}=1,0$ м; $P_{BC}=73,41$ кН = $7,48 \cdot 10^3$ кГ;

$l_{\text{кор.2}}=2,90$ м; $P_{CD}=184,75$ кН = $18,826 \cdot 10^3$ кГ;

$l_{\text{кор.3}}=4,78$ м.

4.9-есеп.

Ені $v=8$ м тікбұрышты канал сегментті қақпамен жабылады. Қақпа алдындағы су тереңдігі $h_1=4,80$ м, төменгі бьефтегі тереңдік $h_2=0$ м. Қақпаның радиусы $r=7,5$ м. Қақпаның айналу өсі, қақпа алдындағы су жиегінен $h=1$ м биіктікте орналасқан (21-сурет). Қақпаның сол жағынан әсер ететін судың қысым күшін және оның қысым орталығының координаталарын анықтаңыз.

Шешімі:

Қысым күші мен оның қысым орталық координаталарын анықтаймыз. Бұл күшті табу үшін, алдын-ала, жеке-жеке, горизонталь және вертикаль (тіктеме) құраушы күштерді есептейміз.

Горизонталь құраушы күш

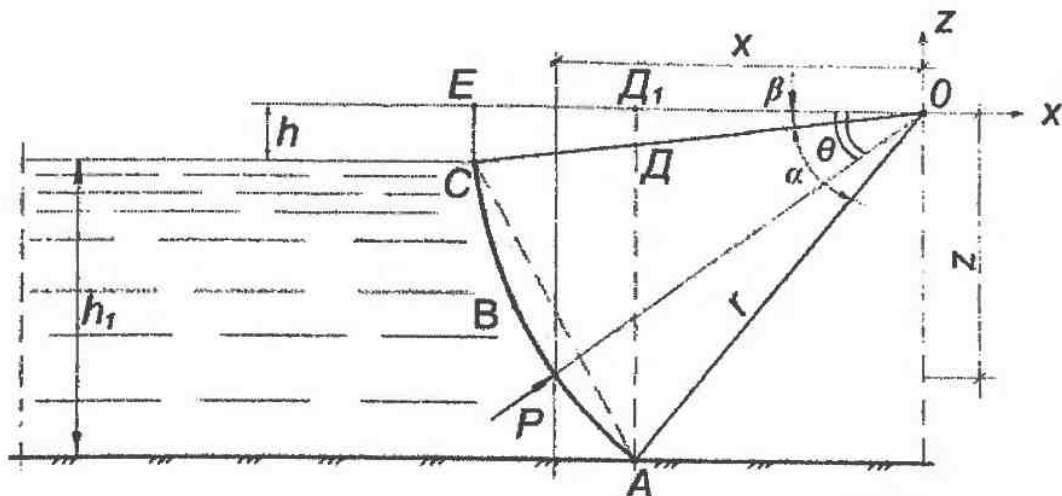
$$P_x = \rho g h_{a.o.} \cdot \omega_x = \rho g \frac{h_1}{2} h_1 v = \rho g \frac{1}{2} v^2 = 9,81 \cdot \frac{4,8^2}{2} \cdot 8 = 904,1 \text{ кН} = \\ = 92,13 \cdot 10^3 \text{ кГ} = 92,13 \text{ Т}$$

Мұндағы ω_x - тік жазықтыққа түсетін қақпаның қисық сызықты бетінің проекциясының ауданы, яғни $\omega_x = v h_1$.

Сол жақтағы тіктеме құраушы күш:

$P_z = \rho g W$, бұл жерде W - қысым денесінің көлемі,

$W = \omega_{ABCD} \cdot v$ (21 - сурет).



21-сурет

ω_{ABCD} ауданы, сегмент ауданы ω_{ACB} мен үшбұрыш ауданының ω_{ACD} қосындысына тең. Бұл аудандарды табу үшін, қосымша қажет болатын шамаларды анықтаймыз:

$$\sin \beta = \frac{h}{r} = \frac{1}{7,5} = 0,133; \beta = 7^{\circ}38,6' \approx 7^{\circ}40';$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \frac{h_1 + h}{r} = \frac{5,8}{7,5} = 0,773;$$

$$\alpha + \beta = 50^{\circ}37,8' \approx 50^{\circ}40', \text{ бұдан } \alpha = 50^{\circ}40' - 7^{\circ}40' = 43^{\circ},$$

$$\sin \alpha = \sin 43^{\circ} = 0,682;$$

$$DA = h_1 = 4,8 \text{ м}, EO = \sqrt{(CO)^2 - (CE)^2} = \sqrt{7,5^2 - 1^2} = 7,44 \text{ м};$$

$$D_1O = \sqrt{(AO)^2 - (AD_1)^2} = \sqrt{7,5^2 - 5,8^2} = 4,75 \text{ м};$$

$$CD = EO - D_1O = 7,44 - 4,75 = 2,69 \text{ м}.$$

Осы мәндерді пайдаланып табатынымыз:
сегменттің ауданы

$$\omega_{ACB} = \frac{\pi^2 \alpha}{360^0} - \frac{1}{2} r^2 \sin \alpha = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\pi \alpha}{180^0} - \sin \alpha \right) = \frac{1}{2} 7,5^2 \left(\frac{3,14 \cdot 43}{180} - 0,682 \right) = 1,92 \text{ м}^2;$$

үшбұрыштың ауданы,

$$\omega_{ACD} = \frac{1}{2} CD \cdot DA = \frac{1}{2} 2,69 \cdot 4,8 = 6,45 \text{ м}^2;$$

қысым денесінің ауданы $\omega_{ABCD} = 1,92 + 6,45 = 8,37 \text{ м}^2$;

Оның көлемі $W = 8,37 \cdot 8 = 66,96 \text{ м}^3$.

Тігінен түсетін күш $P_z = \rho g W$,

$$P_z = 9,81 \cdot 66,96 = 656,88 \text{ кН} = 66,94 \cdot 10^3 \text{ кГ} = 66,94 \text{ Т}.$$

Сол жағынан түсетін судың тең әсерлі күші

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} = \sqrt{92,13^2 + 66,94^2} = 113,88 \text{ Т}.$$

Қысым орталығының координаттарын (x және z) анықтау үшін бұрыш θ -ны табамыз:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P_z}{P_x} = \frac{66,94}{92,13} = 0,727; \quad \theta \approx 36^0$$

Координатаның басы ретінде О нүктесін қабылдаймыз, сонда

$$\frac{z}{x} = \operatorname{tg} \theta = 0,727, \text{ бұл жерден } z = 0,727 x.$$

z үшін табылған мәндерді дөңгелектің тендеуіне $z^2 + x^2 = r^2$ қоямыз, $0,727^2 x^2 + x^2 = 7,5^2$

Бұдан, $x^2(0,727^2 + 1) = 7,5^2$

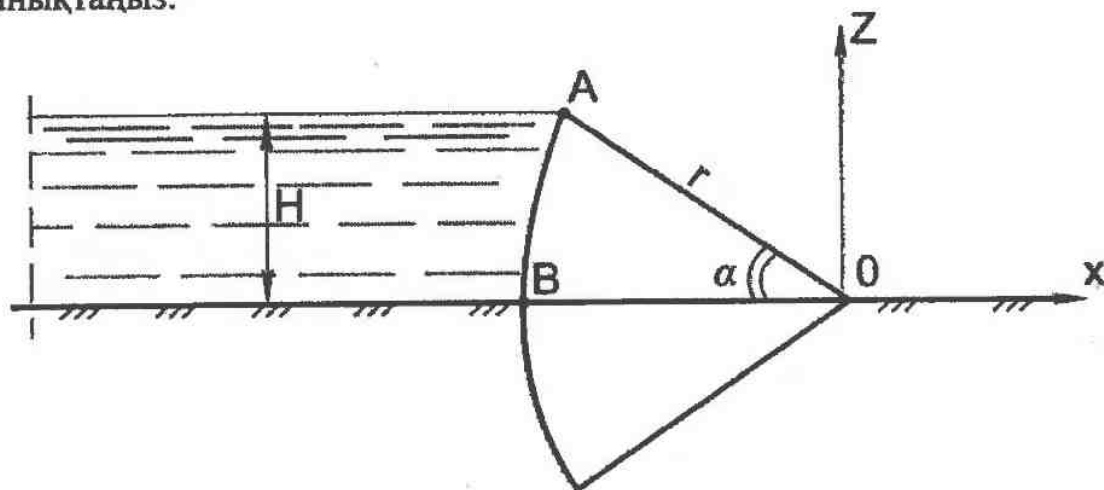
$$x = \pm \sqrt{\frac{56,25}{1,53}} = -6,07 \text{ м}; Z = -0,727 \cdot 6,07 = -4,42 \text{ м}.$$

Қысым орталығы координаталарын графикалық тәсілмен тексереміз. Есептің дұрыстығын тексеру үшін, қақпаның қысық сызықты бетіне түсетін тік проекциясына, сол жағында гидростатикалық қысым эпюрасын масштабта тұрғызамыз және осы эпюраның медиандар қиылысындағы ауырлық орталығын графикалық тәсілмен табамыз. Табылған ауырлық орталығы арқылы P_x , горизонталь күшін жүргіземіз.

Тігінен түсетін P_z күші өтетін, қысым денесінің (АВСД) ауырлық ортасын табу үшін АВСД эпюрасын көлденеңінен және тігінен бірнеше аралыққа бөліп, сол аралықтардың қысым орталықтарын анықтап бір-бірімен қосамыз. Бір-бірімен қиылысатын екі қысық сызық шығады. Қиылысу нүктесі АВСД эпюрасының ауырлық орталығын береді. Тең әсерлі P күші көлденең түсетін P_x және тігінен түсетін P_z күштерінің қиылысу нүктесі арқылы өтеді, және O нүктесіне бағытталады. Қысым орталығының координаталарын (x және z) масштабта өлшейміз және олардың дәл шамасын анықтап, есептік тәсілмен шығарылған мәндермен салыстырамыз. Екі тәсілдің жауабы бірдей болса, есептің дұрыс шешілгені.

4.10-есеп.

Төмендегі берілген мәндер бойынша секторлы қақпаға (22-сурет) түсетін судың қысым күшін және қысым орталық координаталарын анықтаңыз:



22-сурет

$H=3$ м, $\alpha=45^\circ$. Қақпамен жабылатын аралықтың ені $b=4$ м.

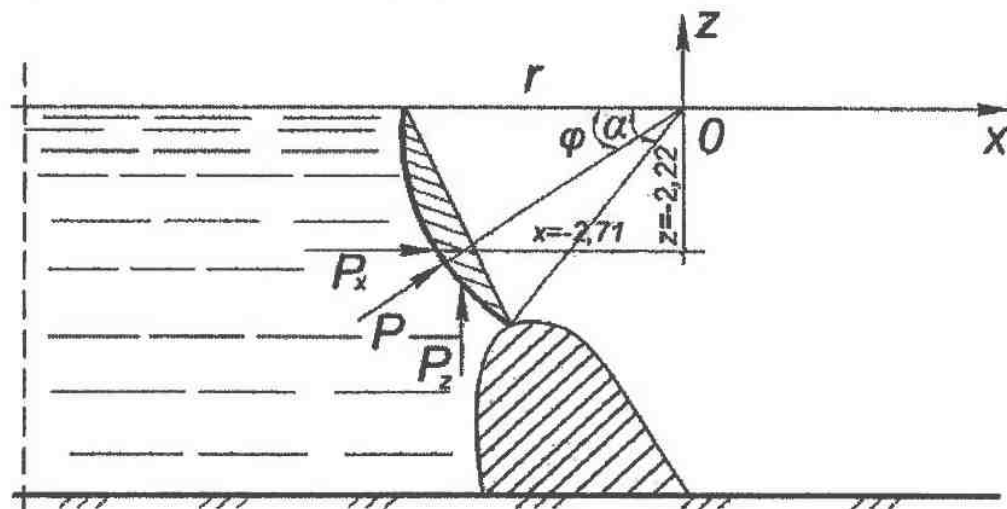
Жауабы:

$$P=182,5 \text{ кН}=18,25 \text{ т.}$$

$$x=-4,09 \text{ м}; z=+1,09 \text{ м.}$$

4.11-есеп.

Практикалық пішіндегі суағарға сегментті қақпа орнатылған (23-сурет). Қақпаның радиусы $r=3,5 \text{ м}$, $\alpha=60^\circ$.



23-сурет

Анықтау керек:

- 1) су деңгейі қақпаның бетімен беттес деп санап, OX және OZ естеріне байланысты қысым орталығының координаталарын;
- 2) тең әсерлі күш OX өсімен қандай бұрышты құрайтынын.

Жауабы:

$$1) x=-2,71 \text{ м}, z=-2,22 \text{ м}; \varphi=39^\circ 19'.$$

4.12-есеп.

Манометр көрсеткіші P_m болғандағы r радиусты жартылай сфералы қақпаның болттарымен қабылданатын кері итеретін күштің шамасын (P) анықтаңыз. Судың тереңдігі h (24-сурет).

$$\text{Берілгені: } P_m = 250 \text{ кПа}; r = 0,35 \text{ м}; h = 1,9 \text{ м}; \gamma_{\text{су}} = 9810 \text{ Н/м}^3.$$

Шешімі:

Болттар қабылдайтын тартылу күші төмендегі шартпен анықталады:

$$P = \rho g * W,$$

мұндағы, W – қысым денесінің көлемі, м^3 .

Бұл жағдайда қысым денесінің көлемі, цилиндр және жарты сфера көлемдерінің айырмасына тең болады:

$$W_y = \pi r^2 \cdot h_1 = 3,14 \cdot 0,35^2 \cdot 23,58 = 9,07 \text{ м}^3.$$

Манометр көрсеткен тегеурін

$$h_0 = \frac{P_m}{\rho g} = \frac{250000}{9810} = 25,48 \text{ м}.$$

$$h_1 = h_0 - h = 25,48 - 1,9 = 23,58 \text{ м}.$$

Жарты сфера көлемі

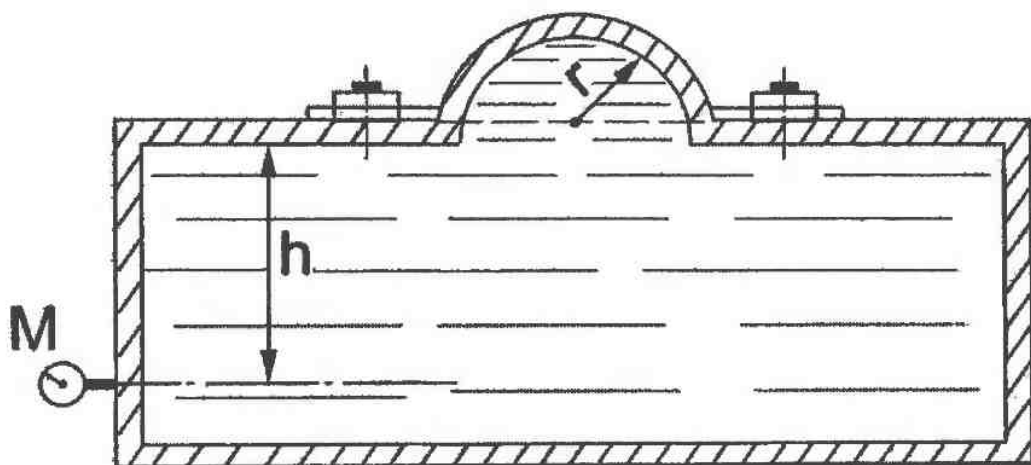
$$W_{сф.} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,35^3 = 0,25 \text{ м}^3.$$

Қысым денесінің көлемі

$$W = W_y - W_{сф.} = 9,07 - 0,25 = 8,81 \text{ м}^3.$$

Болттар қабылдайтын күштің шамасы

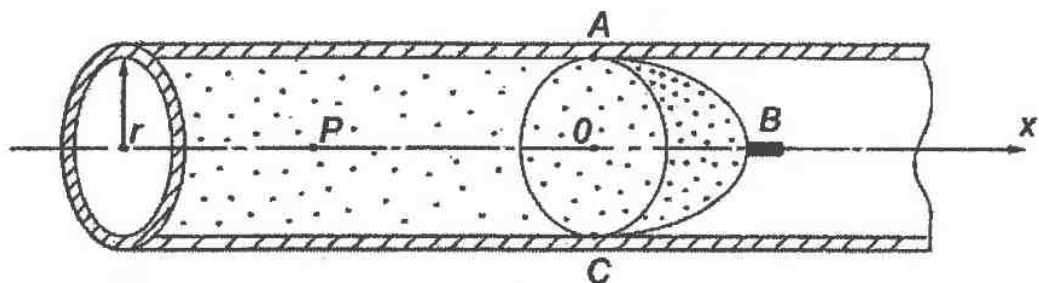
$$P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 8,81 = 86465 \text{ Па} = 86,47 \text{ кПа}.$$



24-сурет

4.13-есеп.

Радиусы $r=10$ см (25-сурет) цилиндр ішіндегі ауаның (будын) қысымы $p=2$ а. Жартысфера (ABC) пішінді поршеньге түсетін қысым күшін табыңыз.



25-сурет

Жауабы:

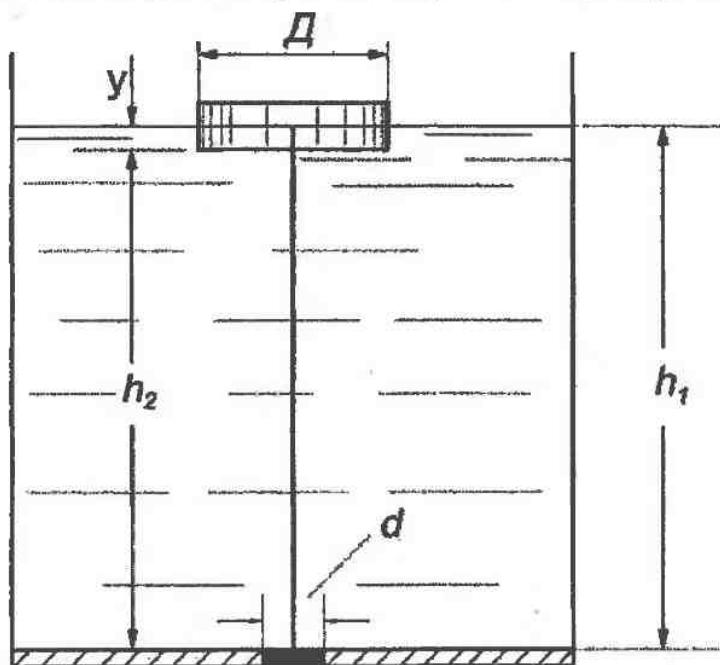
$$P = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \text{ Н} \approx 6,2 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

4.14-есеп.

Бензин қабаты $h_1 \geq 80$ см кезде, диаметрі $d = 4$ см (26-сурет) клапанның автоматты ашылуын қамтамасыз ететін диаметрі $D=30$ см қалтқының салмағын (G_k) анықтаңыз. Төменге тартатын желінің ұзындығы $h_2=74$ см. Клапан мен тартқыштың салмағын $G_{кл}=1,7\text{Н}=0,173 \text{ кГ}$ деп қабылдаңыз. Бензиннің салыстырмалы салмағы $0,75$ ($\gamma_b = 0,75\gamma_{cy}$).

Шешімі:

Қалтқының тепе-теңдік шартын қарастырамыз: қалтқының, клапан мен тартқыштың және клапан үстіндегі бензиннің салмақтарының қосындысы Архимед күшіне тең болуы керек,



26-сурет

$$G_K + \gamma_s \frac{\pi d^2}{4} h_1 + G_{кл} = \gamma_s W,$$

мұндағы, $W = \frac{\pi D^2}{4} y = \frac{3,14 \cdot 900}{4} \cdot 6 = 4239 \text{ см}^3$, ($y = h_1 - h_2$).

Қалтқының салмағы

$$G_K = \gamma_s W - \gamma_s \frac{\pi d^2}{4} h_1 - G_{кл}.$$

Сандық мәндерді қойып және $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ см}^2$,

$\gamma_s = 0,75 \gamma = 0,75 \cdot 9810$ екенін ескере отырып қалтқының салмағын есептейміз.

$$G_K = 0,75 \cdot 9810 \cdot 4239 \cdot 10^{-6} - 0,75 \cdot 9810 \cdot 12,56 \cdot 80 \cdot 10^{-6} - 1,7 = 2,17 \text{ кГ}.$$

Шығарылған есептерге сәйкес қалтқының салмағы $G_K = 2,17 \text{ кГ}$ болуы қажет.

4.15-есеп.

Ұзындығы мен ені $5,0 \cdot 0,3 \text{ м}$ және биіктігі $0,30 \text{ м}$ ағаш бөрене суға тасталды. Бөрененің салыстырмалы салмағы $0,7$ болса, ол қандай тереңдікке батады? Әрбір адамның салмағы орташа алғанда $67,5 \text{ кг}$ деп есептеп, бөрененің жоғарғы беті судың еркін бетімен деңгейлес болғанша бөренеге қанша адам тұра алатынын анықтаңыз.

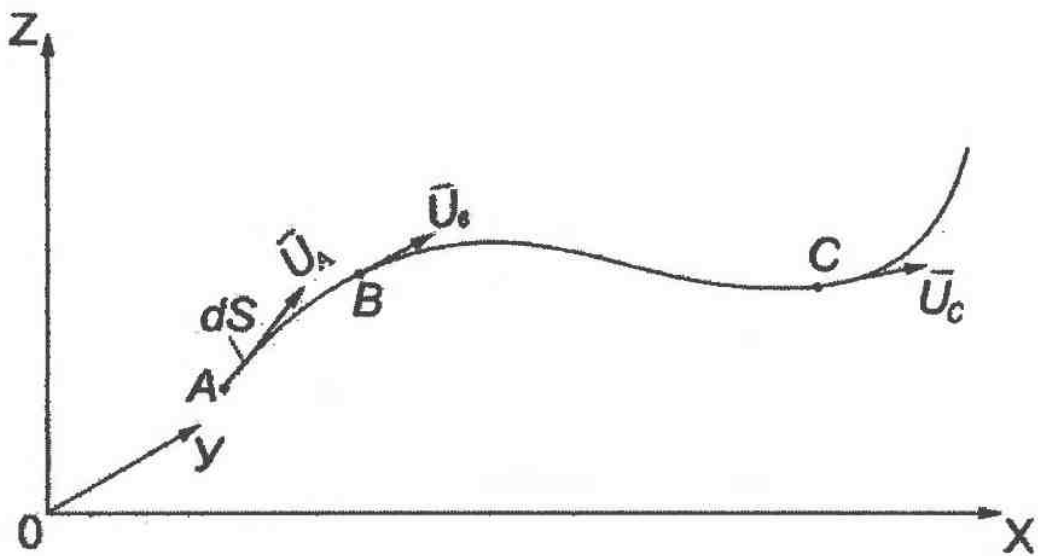
Жауабы:

$0,21 \text{ м-ге}$ батады; 2 адам.

5. Сұйық кинематикасы

5.1-жаттығу.

Ағын сызығының анықтамасына сүйеніп оның дифференциалдық теңдеулерін құрыңыз, соған ұқсастырып құйын сызығының да теңдеулерін жазыңыз.



27-сурет

Жауабы:

Ағын сызығының анықтамасы бойынша, оның кез-келген нүктесінен жүргізілген жанама, жылдамдықтың (\vec{u}) бағытын көрсетеді. Ағын сызығының АВ кесіндісі өте қысқа десек, онда dS -те жанама бойында жатады. Теориялық механика әдісін пайдаланып (27-сурет) осы кесіндіні $|\Delta\vec{r}| = dS$ деп қарастырса болады. Сондықтан

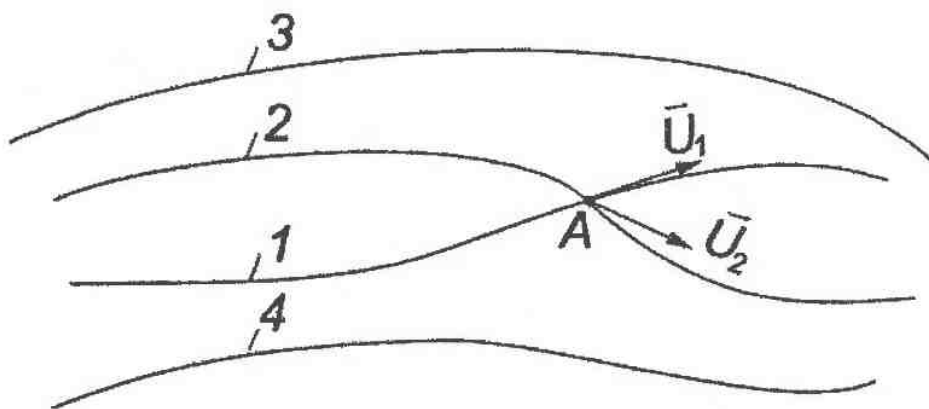
$$\frac{U_x}{u} = \frac{dx}{dS}; \quad \frac{U_y}{u} = \frac{dy}{dS}; \quad \frac{U_z}{u} = \frac{dz}{dS},$$

немесе

$$\frac{dx}{U_x} = \frac{dy}{U_y} = \frac{dz}{U_z}.$$

Құйын теңдеулерін осы теңдеулерге сәйкестендіріп жазуға болады, өйткені олардың анықтамасы да өзара ұқсас

$$\frac{dx}{\omega_x} = \frac{dy}{\omega_y} = \frac{dz}{\omega_z}.$$



28-сурет

5.2-жаттығу.

Ағын сызықтары өзара қиылыспайды, неге? Не себепті?

Жауабы:

Ағын сызықтарының өзара қиылыспайтындығын дәлелдеу үшін, ағын сызығының анықтамасын керісінше топшылау әдісін пайдаланамыз. Мысалы, 1-ші және 2-ші ағын сызықтары А нүктесінде қиылысады (28-сурет) деп бастайық. Онда 1-ші сызықтың А нүктесіндегі жылдамдығы \vec{U}_1 жанама бойынша бағытталады, ал 2-ші ағын сызығына жанама \vec{U}_2 бойымен бағытталады еді. Бірақ бір нүктеде екі жанама (екі жылдамдық) болмайтындықтан бұл топшылаудың жөні жоқ. Ағын сызықтары өзара қиылыспайды деген тұжырым ғана қалады.

5.3-жаттығу.

Сығылмайтын тұтқырлы сұйық қозғалысының теңдеулерін сығылатын тұтқырлы сұйық қозғалысына пайдаланудың шарты қандай?

Жауабы:

Н.Е. Жуковский бір деңгейдегі екі сұйықты қарастырып (біреуі тыныштықта тұрған сығылмайтын сұйық, екіншісі - сығылатын және біріншісіне салыстырғанда қозғалып бара жатқан), оларға Бернулли теңдеуін жазып, қысым айырмасын тауып, сығылу эффектiсiнiң әсерiн мына формула арқылы табуды ұсынған

$$\delta = \frac{g^2}{4c^2} = \frac{1}{4} M^2. \quad (1)$$

Бұл жерде М-Мах (Н.В. Маевский) саны, $M = \frac{g}{c}$; g - сұйық (газ) қозғалысының жылдамдығы; c - дыбыс таралуының адиабаталық жылдамдығы.

Сығылу эффектісінің әсері $\delta \cong 0,01$, $c \cong 300 \text{ м/с}$ болса, онда (1) формуладан $g = 60 \text{ м/с}$ шығады.

Демек, сығылатын сұйық қозғалысы 60 м/с кем болса сығылмайтын сұйық қозғалысына жазылған Бернулли теңдеуін пайдалана беруге болады.

Мах саны $M \cong 0,2$ дейінгі тұтастық теңдеуі, сығылмайтын сұйықтың тұтастық теңдеуінен айырмасы өте аз болады. Бірақ Мах саны бірге жақындаған сайын, бұл теңдеулердің сығылатын сұйықтар үшін маңызы арта түседі, ол негізгі ұқсастық белгісіне айналады.

5.4-жаттығу.

Ағынның еркін бет енінің салыстырмалы периметрі $\beta_\chi = B/\chi$ (B - еркін бет ені; χ - суланған периметр) арқылы ағындарды жіктеңіз.

Жауабы:

Профессор Ә.Әбдіраманов ұсынысы бойынша:

- а) $\beta_\chi = 0$ – арынды ағын;
- б) $0 < \beta_\chi < \infty$ - арынсыз ағын;
- в) $\beta_\chi = \infty$ - еркін ақпа.

5.5-жаттығу.

Сұйық қозғалысының үзіліссіздігін қандай теңдеу арқылы өрнектейді?

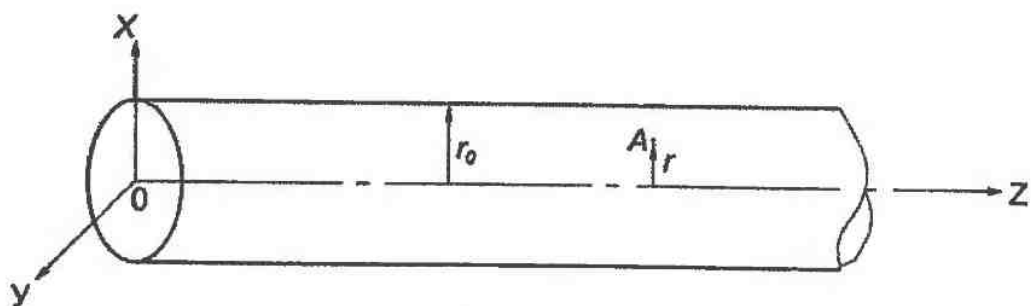
Оны нүктеге, ақпаға және ағынға арнап жазыңыз.

5.6-жаттығу.

Құбыр өткізгіштегі (29-сурет) ламинарлық режимді сұйық қозғалысы күйінді қозғалысқа жатады. Тексеріп көріңіз.

Жауабы: Құбырдың көлденең қимасындағы жылдамдық эпюрі мына формуламен өрнектеледі

$$\bar{U} = \frac{gI}{4\nu} (\bar{r}_0^2 - \bar{r}^2)$$



29-сурет

Жылдамдықтың x , y , z өстеріне проекциялары (құраушылары) U_x, U_y, U_z төмендегідей:

$$U_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_z}{\partial y} - \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) = 0;$$

$$U_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_x}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) \neq 0;$$

$$U_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_y}{\partial x} - \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \neq 0.$$

Бұл құйынды қозғалыс.

5.7-жаттығу.

Сұйық қозғалысының цилиндр құбырдағы ламинарлық және тұрбуленттік режімдерінің басты айырмашылықтарын сипаттаңыз.

5.8-жаттығу.

Ламинарлық режімдегі сұйық қабаттары арасындағы үйкеліс күшіне арналған Ньютон болжамдары мен Ньютон-Петров теңдеуін көрсетіңіз.

5.9-жаттығу.

Навье-Стокс теңдеулерін Декарттық координаттар жүйесіне келтіріп, жазып көрсетіңіз.

5.10-жаттығу.

Элементар ақпаға арналған Бернулли теңдеуінен ағынға арналған Бернулли теңдеуі Кориолис коэффициентін (α) кіргізумен ерекшеленеді. Мағынасын түсіндіріңіз.

5.11-жаттығу.

Сұйықтың қозғалыс мөлшерін анықтағанда Буссинеск коэффициентін (α_0) пайдаланады. Не себептен?

5.12-жаттығу.

Кориолис коэффициенті (α) мен Буссинеск коэффициентінің (α_0) байланысын табыңыз.

5.1-есеп.

Горизонталь құбыр өткізгіш бойымен $Q=8,8$ л/с суды жібергенде, тереңдігі $H=55$ см су кезінен суды сору үшін, арын шығыны жоқ деп санап, құбырдың тарылған диаметрін (d_2) (30-сурет) анықтаңыз. Құбырдың диаметрі $d_1=100$ мм, 1-1 қимасындағы манометрлік қысым $p_1 = 3924 \text{ Н/м}^2$ ($p_1 / \rho g = 0,4 \text{ м}$ су бағ.)

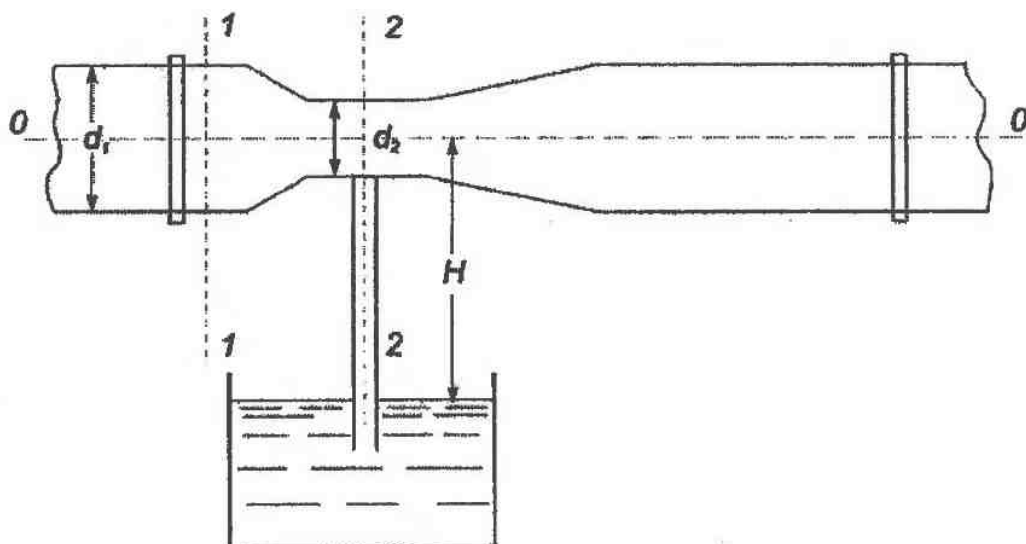
Шешімі:

Құбыр өсін салыстыру жазықтығы деп қабылдап, 1-1 және 2-2 қималары үшін Бернулли теңдеуін жазамыз:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}. \quad (1)$$

Екінші қимадағы жылдамдық арынын анықтаймыз:

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{p_a - p_2}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g}. \quad (2)$$



30-сурет

Теңдеудегі $\frac{P_a - P_2}{\rho g}$ 2 – 2 қимасындығы вакуум.

Тепе-теңдік шартын жаза отырып, құбырша бойымен $H=55$ см биіктікке судың көтерілуін қамтамасыз ететін вакуум шамасын анықтаймыз

$$P_2 + \rho g H = P_a,$$

мұндағы,

$$H = \frac{P_a - P_2}{\rho g} = 0,55 \text{ м.}$$

$d_1=100\text{мм}=10$ см кездегі құбырдың өтім қимасының ауданын есептейміз:

$$\omega = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ см}^2.$$

Бірінші қимадағы жылдамдықты табамыз

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{8800}{78,5} = 112 \text{ см/с} = 1,12 \text{ м/с}.$$

1-1 қимасындағы жылдамдық арыны

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{1,12^2}{19,62} = 0,064 \text{ м.}$$

Бернулли теңдеуіне (2) сандық мәндерді қоямыз:

$$\frac{v_2^2}{2g} = 0,4 + 0,55 + 0,064 = 1,014 \text{ м,}$$

сонда, екінші қимадағы жылдамдық

$$v_2 = \sqrt{19,62 \cdot 1,014} = 4,46 \text{ м/с.}$$

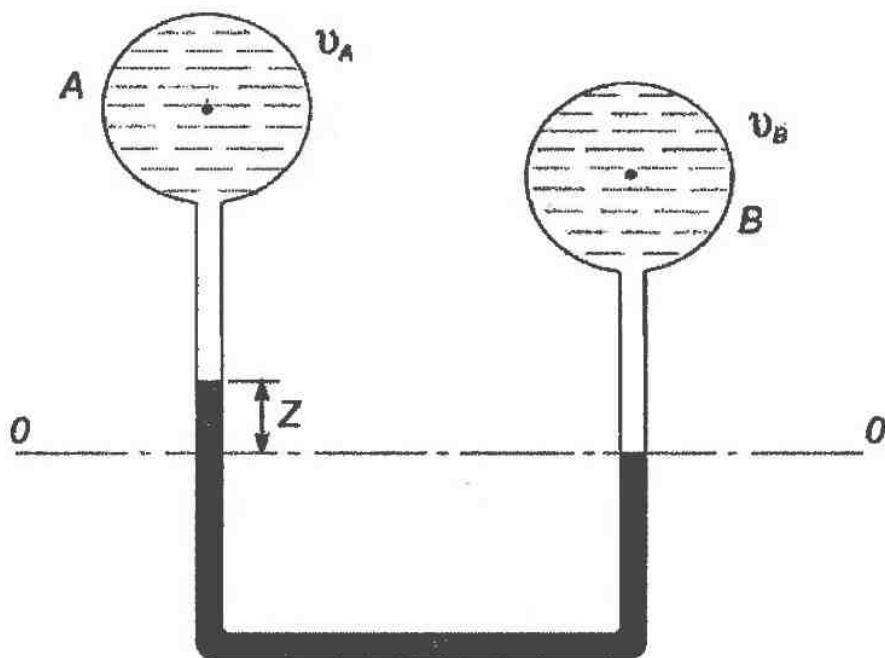
Төменде келтірілген теңдеу бойынша құбырдың тарылған диаметрін анықтаймыз:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0088}{3,14 \cdot 4,46}} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см},$$

мұндағы $Q=8,8 \text{ л/с}=0,0088 \text{ м}^3/\text{с}$.

5.2-есеп.

Диаметрлері бірдей ($d_1=d_2=200 \text{ мм}$) А және В құбырлары бойынша қысыммен су беріледі. Құбырлардағы (31-сурет) қысым айырмасын өлшеу үшін манометр жалғанған. Құбырлардағы су қозғалысының жылдамдығын және А құбырындағы өтімді Q_A анықтаңыз. А және В құбырларындағы үлестік энергиялар өзара тең. Сынапты манометрдің көрсеткіші $z=1 \text{ см}$. В құбырындағы су өтімі $Q_B=5,9 \text{ л/с}$. Кориолис коэффициентін $\alpha = 1$ деп қабылдаңыз.



31-сурет

Жауабы:

$$v_A = 1,09 \text{ м/с}; v_B = 0,75 \text{ м/с}; Q_A = 8,6 \text{ л/с}$$

5.3-есеп.

Құбырдан ағып шыққан су өтімін (Q) және В нүктесіндегі (32-сурет) манометрлік қысымды ($p_B - p_a$) анықтаңыз. Резервуардағы су деңгейі тұрақты, тереңдігі $h=5,0$ м, жоғарғы құбыр диаметрі $d_1=150$ мм, бөліктерінің ұзындығы $l_1'=4,4$ м және $l_1''=10$ м – ге тең. Диаметрі $d_2=100$ мм төменгі құбырдың ұзындығы $l_2=13$ м. Есептеу кезінде, резервуардағы жылдамдық арынын ескермесе де болады.

Шешімі:

0-0 және 2-2 қималары үшін Бернулли теңдеуін жазамыз,

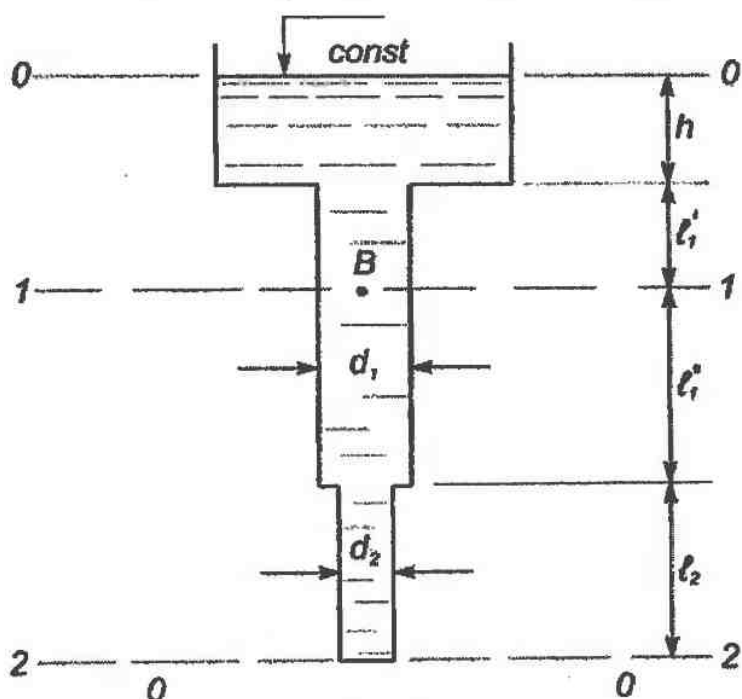
$$l_1' + l_1'' + l_2 + h + \frac{p_a}{\rho g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{g^2}{2g} + \sum h_{0-2}, \quad (1)$$

немесе

$$32,4 = \frac{g^2}{2g} + \sum h_{0-2}. \quad (2)$$

Арын шығынын анықтаймыз,

$$\sum h_{0-1} = \xi_{\kappa} \frac{g_1^2}{2g} + \lambda_1 \frac{l_1' + l_1''}{d_1} \frac{g_1^2}{2g} + \xi_{\kappa.m.} \frac{g_2^2}{2g} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{g_2^2}{2g}. \quad (3)$$



32-сурет

Арын шығынын g_2 жылдамдығы арқылы табамыз. Ол үшін $g_1 \omega_1 = g_2 \omega_2$ тұтастық теңдеуінен g_1 жылдамдығын тауып алу керек. Сонда,

$$g_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} g_2 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 g_2 = \left(\frac{100}{150} \right)^2 g_2 = 0,444 g_2 \text{ және } g_1^2 = 0,197 g_2^2. \quad (4)$$

Жоғарғы құбырға кіру ξ_x және кейін күрт тарылу $\xi_{к.т.}$ коэффициенттерін $\xi_x = 0,5$ және $\xi_{к.т.} = 0,28$ деп қабылдап, оларды (3) теңдеудегі орындарына қоямыз, ал Дарси коэффициентін Дарси ұсынған мына формула арқылы табамыз,

$$\lambda = 0,02 \left(1 + \frac{1}{40d} \right)$$

яғни

$$\lambda_1 = 0,02 + \frac{0,0005}{0,15} = 0,0233 \text{ және } \lambda_2 = 0,02 + \frac{0,0005}{0,1} = 0,025.$$

Сондықтан арын шығыны

$$\Sigma h_{0-1} = (0,5 \cdot 0,197 + 0,0233 \cdot 96,0 \cdot 0,197 + 0,28 + 0,025 \cdot 130) \frac{g_2^2}{2g} = 4,069 \frac{g_2^2}{2g}.$$

Табылған мәндерді Бернулли теңдеуіне (2) қоямыз:

$$32,4 = \frac{g_2^2}{2g} (1 + 4,069) = 5,069 \frac{g_2^2}{2g}. \quad (5)$$

Шығу кезіндегі жылдамдық:

$$g_2 = \frac{1}{\sqrt{5,069}} \sqrt{19,62 \cdot 32,4} = 11,2 \text{ м/с.}$$

Ал (4) - формуладан

$$g_1 = 0,444 \cdot 11,2 = 4,97 \text{ м/с.}$$

Өтім

$$Q = \omega_2 g_2 = 0,00785 \cdot 11,2 = 0,088 \text{ м}^3/\text{с},$$

мұндағы,

$$\omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = 0,785 \cdot 0,1^2 = 0,00785 \text{ м}^2.$$

Құбырдың В нүктесіндегі манометрлік қысымды анықтау үшін, 0–1 қималары арқылы жүргізілген салыстыру жазықтығына байланысты Бернулли теңдеуін жазамыз,

$$h + \ell'_1 + \frac{P_a}{\rho g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{g_1^2}{2g} + \xi_k \frac{g_1^2}{2g} + \lambda_1 \frac{\ell'_1}{d_1} \frac{g_1^2}{2g}.$$

Бұл теңдеуден

$$\begin{aligned} \frac{P_B - P_a}{\rho g} &= (h + \ell'_1) - \frac{g_1^2}{2g} \left(1 + \xi_k + \lambda_1 \frac{\ell'_1}{d_1} \right) = \\ &= 9,4 - \frac{4,97^2}{19,62} \left(1 + 0,5 + 0,0233 \frac{4,4}{0,15} \right) = 6,65 \text{ м} \end{aligned}$$

немесе

$$P_B - P_a = 9810 \cdot 6,65 = 65237 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 65,24 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 0,665 \cdot 10^4 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^2}.$$

5.4-есеп.

Диаметрі $d=10$ см құбырға $t=12^{\circ}\text{C}$ температурада су жіберіледі. Құбырдағы су өтімі $Q=150$ см³/с. Ағынның қозғалу режимін анықтаңыз және құбырдың көлденең қимасының ортасына жіберілген бояу ақпасының қозғалу түрін сипаттаңыз. Қозғалу режимін өзгерту үшін құбырға қандай өтім беру қажет?

Шешімі:

Анықтамадан судың $t=12^{\circ}\text{C}$ температурадағы кинематикалық тұтқырлық коэффициентін табамыз, яғни $\nu = 0,0124 \text{ см}^2/\text{с}$.

Құбырдағы су қозғалысының жылдамдығы

$$g = \frac{Q}{\omega} = \frac{150}{78,5} = 1,91 \text{ см/с},$$

мұндағы,

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ см}^2.$$

Рейнольдс санын есептейміз

$$Re = \frac{gd}{\nu} = \frac{1,91 \cdot 10}{0,0124} = 1540.$$

$Re < Re_{\sigma}$ (әдетте $Re_{\sigma} = 2320$) болғандықтан, құбырдағы қозғалыс ламинарлы. Ағынның ортасына жіберілген бояу сұйықпен араласпай, жеке ақпа болып қозғалады.

Қозғалыс режімі тұрбулентті режімге өтетін жылдамдықты табамыз:

$$g_{\sigma} = \frac{\nu Re_{\sigma}}{d} = \frac{0,0124 \cdot 2320}{10} = 2,88 \text{ см/с}.$$

Қозғалыс режімі өзгергендегі су өтімі Q төмендегі формуламен анықталады

$$Q = \omega g_{\sigma} = 78,5 \cdot 2,88 = 226,08 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Жоғарыда табылғандай, құбырда тұрбулентті режім туғызу үшін $226,08 \text{ см}^3/\text{с}$ -тан артық өтім өткізу қажет.

5.5-есеп.

Төмендегі суретте (33-сурет) берілген қысқа құбырлар желісіндегі әртүрлі кедергілерге кететін арын шығынын Бернулли теңдеуін пайдаланып анықтаңыз.

Берілгені: $Q=12 \text{ л/с}$; $P_0=59,0 \text{ кПа}$; $l_1=165 \text{ м}$; $l_2=65 \text{ м}$; $l_3=120 \text{ м}$; $d_1=150 \text{ мм}$; $d_2=200 \text{ мм}$; $d_3=175 \text{ мм}$; $\Delta=1,35 \text{ мм}$; $t=13^{\circ}\text{C}$; $\nu=0,01207 \text{ см}^2/\text{с}$; $x=140 \text{ м}$.

Шешімі:

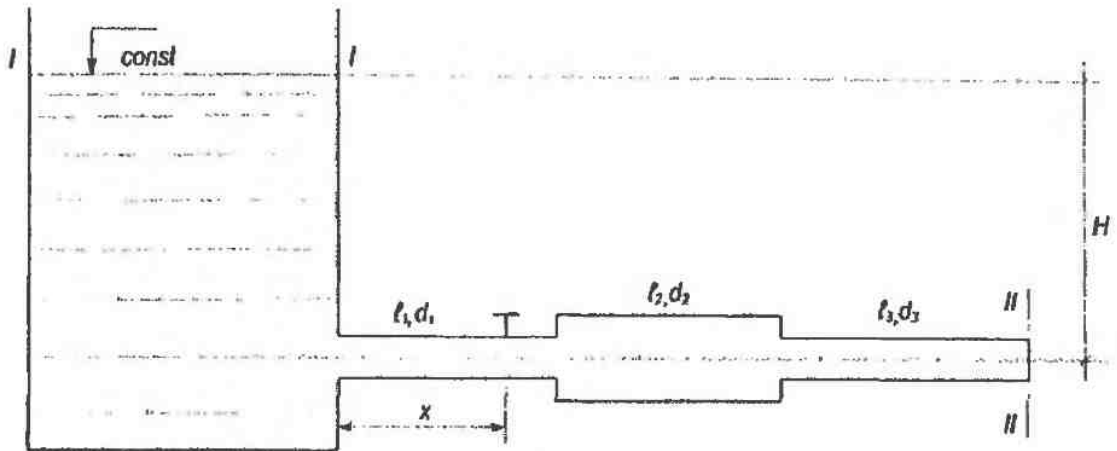
I-I және II-II қималары үшін Бернулли теңдеуін жазамыз:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha g_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha g_2^2}{2g} + \sum h_{1-2}, \quad (1)$$

$Z_1 - Z_2 = H; P_1 = P_0 = 59,0 \text{ кПа}; P_2 = P_a = 98,1 \text{ кПа}; g_1 = g_2 = 0;$
 $\sum h_{1-2}$ - арын шығындарының қосындысы.

(1) – теңдеуден толық арын

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \sum h_{1-2} = \frac{98,1 - 59,0}{9,81} + \sum h_{1-2} = 3,99 + \sum h_{1-2}.$$



33-сурет

h_{1-2} ұзындық және жергілікті шығындардан тұрады. Берілген суреттегі арын шығындарын рет-ретімен жазсақ, теңдеу мына түрге келеді:

$$H = 3,99 + \xi_{\text{кіру}} \frac{g_1^3}{2g} + \lambda_1 \frac{x}{d_1} \cdot \frac{g_1^2}{2g} + \xi_{\text{ысыр}} \frac{g_1^2}{2g} + \lambda_1 \frac{l_1 - x}{d_1} \cdot \frac{g_1^2}{2g} + \xi_{\text{к.к.}} \frac{g_2^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{g_2^2}{2g} + \xi_{\text{к.т.}} \frac{g_2^2}{2g} + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{g_3^2}{2g} + \xi_{\text{шығу}} \frac{g_3^2}{2g}. \quad (2)$$

Мұнда, $\xi_{\text{кіру}}, \xi_{\text{ысыр}}, \xi_{\text{к.к.}}, \xi_{\text{к.т.}}, \xi_{\text{шығу}}$ - тиісінше, құбырға кіру, ысырма, күрт кеңею, күрт тарылу, шығу жерлеріндегі кедергілік коэффициенттері;

λ -гидравликалық үйкеліс коэффициенті;

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}; \quad (3)$$

Δ -құбырдың бұжырлық коэффициенті, $\Delta = 1,35 \text{ мм}$.

Сұйықтың тұтастық теңдеуінен,

$$Q = \omega_1 \cdot g_1 = \omega_2 \cdot g_2 = \omega_3 \cdot g_3,$$

жылдамдықтарды табуға болады:

- l_1 учаскесінде $d_1 = 150$ мм болғандықтан:

$$g_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{0,012}{3,14 \cdot \frac{0,15^2}{4}} = 0,68 \text{ м/с};$$

$$\text{Re}_1 = \frac{g_1 \cdot d_1}{\nu} = \frac{68 \cdot 15}{0,01207} = 84507;$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{1,35}{150} + \frac{68}{84507} \right)^{0,25} = 0,0346;$$

- l_2 учаскесінде $d_2 = 200$ мм болғандықтан:

$$g_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{0,012}{3,14 \cdot \frac{0,2^2}{4}} = 0,38 \text{ м/с};$$

$$\text{Re}_2 = \frac{g_2 \cdot d_2}{\nu} = \frac{38 \cdot 20}{0,01207} = 62966;$$

$$\lambda_2 = 0,11 \left(\frac{1,35}{200} + \frac{68}{62966} \right)^{0,25} = 0,0327;$$

- l_3 учаскесінде $d_3 = 175$ мм болғандықтан:

$$g_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{0,012}{3,14 \cdot \frac{0,175^2}{4}} = 0,5 \text{ м/с};$$

$$Re_3 = \frac{g_3 \cdot d_3}{\nu} = \frac{50 \cdot 17,5}{0,01207} = 72494;$$

$$\lambda_3 = 0,11 \left(\frac{1,35}{175} + \frac{68}{72494} \right)^{0,25} = 0,0335.$$

Жергілікті кедергі коэффициенттерінің мәндерін гидравликалық анықтамалардан аламыз:

$$\xi_{к\text{іру}} = 0,5; \xi_{ысыр} = 0,88; \xi_{к.т.} = 0,28; \xi_{шығу} = 1,0; \xi_{к.к.} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 = 0,61$$

Толық арын шығыны (2) – формула бойынша

$$\begin{aligned} H &= 3,99 + 0,5 \cdot \frac{0,68^2}{19,62} + 0,0346 \frac{140}{0,15} \cdot \frac{0,68^2}{19,62} + 0,88 \frac{0,68^2}{19,62} + 0,0346 \frac{165-140}{0,15} \cdot \frac{0,68^2}{19,62} + \\ &+ 0,61 \frac{0,38^2}{19,62} + 0,0327 \frac{65}{0,2} \cdot \frac{0,38^2}{19,62} + 0,28 \frac{0,5^2}{19,62} + 0,0335 \frac{120}{0,175} \cdot \frac{0,5^2}{19,62} + 1,0 \frac{0,5^2}{19,62} = \\ &= 3,99 + 0,01 + 0,76 + 0,02 + 0,14 + 0,01 + 0,08 + 0,01 + 0,29 + 0,01 = 5,32 \text{ м} \end{aligned}$$

Сонымен, құбырлар желісінен Q су өтуі үшін H=5,32 м арын шығындалады екен.

5.6-есеп.

Бернулли теңдеуінен сорғының ең көп өтімін мына түрде жазуға болады

$$Q_{\max} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2g(h_{\text{вак}} - h) / (1 + \sum \xi + \lambda l/d)}.$$

Шамалап $h_{\text{вак}} = 7,5$ м; $\sum \xi = 0,30$; $\lambda = 0,02$ және $l/d = 100$ деп алсақ,

$$Q_{\max} = 1,92^2 \sqrt{7,5 - h}, \text{ м/с.}$$

Егер сорғы $h = 5$ м биіктікте орналасса (сұйық бетінен), $d = 0,5$ м болса, онда Q_{\max} қандай болар еді?

Жауабы: 0,75 м³/с.

6. Қысқа және ұзын құбырлар. Гидравликалық кедергілер және арын шығындары

6.1-жаттығу.

Арынды құбырөткізгіштердегі жергілікті кедергілердің атын, суретін және оларда болатын арын шығындарын анықтап, кесте түрінде келтіріңіз.

6.2-жаттығу.

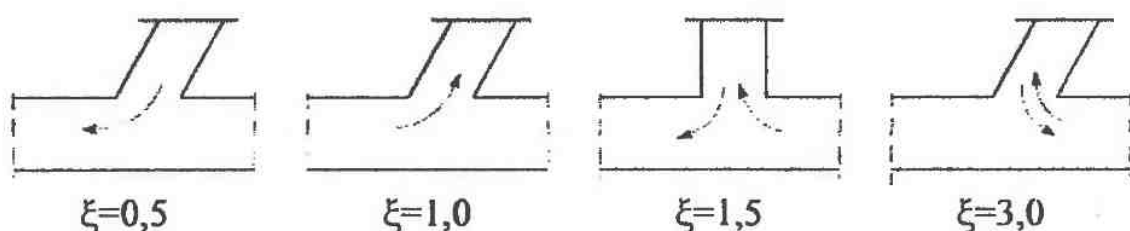
Жергілікті кедергілердің арын шығындарының сан мәндерін табу формуласын жазып, ондағы жергілікті кедергі коэффициентінің не себептен сондай мәнге ие болатынын түсіндіріңіз.

6.3-жаттығу.

Гидравликалық кедергілердің коэффициенттері неге байланысты болады және ол қалай анықталатынын түсіндіріп беріңіз.

6.4-жаттығу.

34-суретте берілген құбырлардың тармақталуындағы жергілікті кедергі коэффициенттерінің сандық мәндерін қалай түсіндірер едіңіз.



34-сурет

6.5-жаттығу.

Сорғының сору желісіндегі вакуумның шамасы

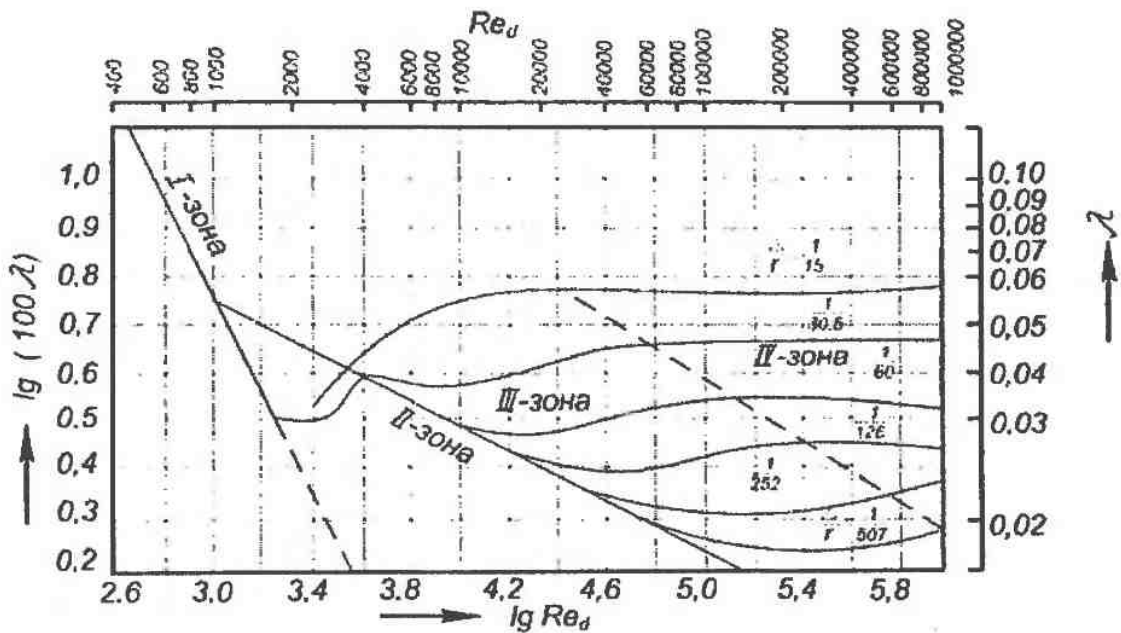
$$(h_{\text{вак}})_c = a + (1 + \xi_f) \frac{g^2}{2g}$$

Бұл жердегі: a - сорғы өсінің бассейндегі су деңгейінен биіктігі;
 ξ_f - сору желісіндегі толық кедергі коэффициенті;
 \mathcal{Q} - құбырдағы орташа жылдамдық.

Егер сорғының сору желісіндегі су қабылдағыш ($\xi_{с.к.}$), кері клапан ($\xi_{к.к.}$), вакуум-гидроциклон ($\xi_{.н}$) орнатылған болса, онда толық кедергі коэффициенті ξ_f неге тең болар еді?

6.6-жаттығу.

Никурадзе графигін (35-сурет) сипаттаңыз. Ол үшін 6.1 - кестені толтырыңыз.



35-сурет

6.7-жаттығу.

Никурадзе графигіндегі (35-сурет) I, II, III, IV зоналар үшін табылған формулаларды жазып (6.2 - кесте), олардың ерекшеліктері мен айырмашылықтарын көрсетіңіз.

6.1-кесте

№	Қозғалыс режимдері, Дарси коэффициентінің өзгеруі	Өзгеру шектері			
		Re	$lg Re$	λ	$lg(100\lambda)$
1	2	3	4	5	6
1	Ламинарлық режим (I-зона), $\lambda = f(Re)$				
2	Ламинарлық режим, гидравликалық жылтыр бет (II-зона), $\lambda = f(Re^{-0.25})$				
3	Өтпелі ламинарлы- түрбулентті режим (III- зона), $\lambda = f(Re, \Delta/r)$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{15}$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{60}$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{252}$				
4	Дамыған түрбулентті режим, кедергінің квадраттық облысы, кедергінің Рейнольдс санына автомобильді облысы (IV-зона), $\lambda = f(\Delta/r), \lambda \neq f(Re),$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{30,6}$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{60}$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{120}$ $\frac{\Delta}{r} = \frac{1}{252}$				

6.2-кесте

Кедергі облыстары	Формула	Автор
I – зона, $\lambda = f(\text{Re})$		
II – зона, $\lambda = f(\text{Re}^{-0,25})$		
III – зона, $\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{r}\right)$		
IV – зона, $\lambda = f\left(\frac{\Delta}{r}\right), \lambda \neq f(\text{Re})$		

6.1-есеп.

Бұрын пайдаланылған болат құбырда ағып жатқан судың температурасы 20°C , су өтімі $Q=0,6 \text{ м}^3/\text{с}$, құбырдың ішкі диаметрі $d=0,5\text{м}$, ұзындығы $\ell=1000\text{м}$. Үйкеліске шығындалған арын шамасын табыңыз.

Шешімі:

Пайдаланылған құбырдың абсолюттік эквиваланттық бұжырлығы $\Delta_3=0,15 \text{ мм}=1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, сондықтан

$$\frac{\Delta_3}{d} = 1,5 \cdot 10^{-4} / 0,5 = 0,0003.$$

Берілген температурадағы кинематикалық тұтқырлық коэффициенті $\nu=1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Құбырдағы су ағынының орташа жылдамдығы

$$g = 4Q / \pi d^2 = 4 \cdot 0,6 / 3,14 / 0,25 = 3,06 \text{ м/с}.$$

Құбырдағы су ағыны үшін Рейнольдс саны

$$\text{Re} = gd / \nu = 3,06 \cdot 0,5 / 1 \cdot 10^{-6} = 1,53 \cdot 10^6.$$

Гидравликалық үйкеліс коэффициентін А.Д.Альтшуль формуласы арқылы есептейміз,

$$\lambda = 0,11(\Delta_3/d + 68/\text{Re})^{0,25} = 0,11(0,0003 + 68/(1,53 \cdot 10^6)^{0,25}) = 0,015.$$

Сонымен құбыр бойындағы арын шығынын Дарси-Вейсбах формуласымен табамыз:

$$h_{\text{Үй}} = \lambda \cdot (\ell/d) \cdot (g^2/2g) = 0,015 \cdot 1000 / 0,5 \cdot 3,06^2 / 2 \cdot 9,81 = 14,30 \text{ м}.$$

6.2-есеп.

Сақиналы қималы болат құбырдың ішінде аққан су температурасы $t=10^{\circ}\text{C}$, су отімі $Q=400\text{л/мин}$. Сыртқы құбырдың ішкі диаметрі $d_1=75\text{мм}$, ішкі құбырдың сыртқы диаметрі $d_2=100\text{мм}$, ұзындығы $\ell=150\text{м}$, құбыр учаскесіндегі үйкеліске шығындалатын арынды табыңыз.

Жауабы:

31,75м.

6.3-есеп.

Құбырдағы сұйық ламинарлы режімде ағады, $Re=15\cdot 10^2$. Құбырдың гидравликалық кедергі коэффициенті (λ) қандай?

Жауабы:

Пуазейль формуласы бойынша $\lambda=0,043$.

6.4-есеп.

Құбырдың көлденең қимасындағы сұйық қозғалысының ең үлкен жылдамдығы $u_{\text{max}}=2\text{м/с}$. Егер сұйық ламинарлы режімде ағатын болса, оның орташа жылдамдығы неге тең болар еді?

Жауабы:

$v = 0,5\text{м/с}$.

6.5-есеп.

Жаңадан төселген болат құбырдың диаметрі $d=50\text{мм}$, оның көлденең қимасынан өтіп жатқан судың орташа жылдамдығы 2м/с . Құбырдың гидравликалық кедергі коэффициентін табыңыз.

Жауабы:

$\lambda=0,0056$.

6.6-есеп.

Бұжырлық коэффициенті $n=0,013$ және гидравликалық радиусы $R=0,75\text{м}$ каналға сәйкес Шези коэффициентін Павловскийдің, Маннингтің және Агроскипнің формулаларымен анықтап, оларды салыстыра сипаттаңыз.

6.7-есеп.

Диаметрі $d=500\text{мм}$ су тасымалдайтын құбыр қимасының екі нүктесіндегі жылдамдық белгілі: құбыр осінде $u_{\text{max}}=2,6\text{ м/с}$ және

күбыр қабырғасынан $y=110\text{мм}$ қашықтықта $u=2,30\text{ м/с}$. 1 м күбыр бойындағы үйкеліске кететін арын шығынын табыңыз.

Шешімі:

Бойлық бойынша гидравликалық кедергі коэффициентін А.Д.Альтшуль формуласын қолданып анықтаймыз

$$u/u_{\max} = (y/r_0)^{0,9} \sqrt{\lambda},$$

немесе

$$\lg(u/u_{\max}) = 0,9 \sqrt{\lambda} \lg \frac{y}{r_0}$$

Бұдан шығатыны

$$\lambda = \frac{\left(\lg \frac{u}{u_{\max}} \right)^2}{(0,9 \lg y/r_0)^2} = \frac{\left(\lg \frac{2,3}{2,6} \right)^2}{(0,9 \lg 110/250)^2} = 0,0286.$$

Ағыстың орташа жылдамдығын мына формуладан табамыз

$$u_{\max}/g = 1 + 1,33 \sqrt{\lambda} = 1 + 1,33 \sqrt{0,0286} = 1,228;$$

$$g = 2,60/1,228 = 2,11 \text{ м/с}.$$

Арын шығынының 1м күбыр ұзындығына келетін сан мәнін Дарси-Вейсбах формуласымен анықтаймыз,

$$\frac{h_w}{l} = \frac{\lambda}{d} \frac{g^2}{2g} = \frac{0,0286}{0,5} \frac{2,11^2}{19,6} = 0,013 \text{ м}.$$

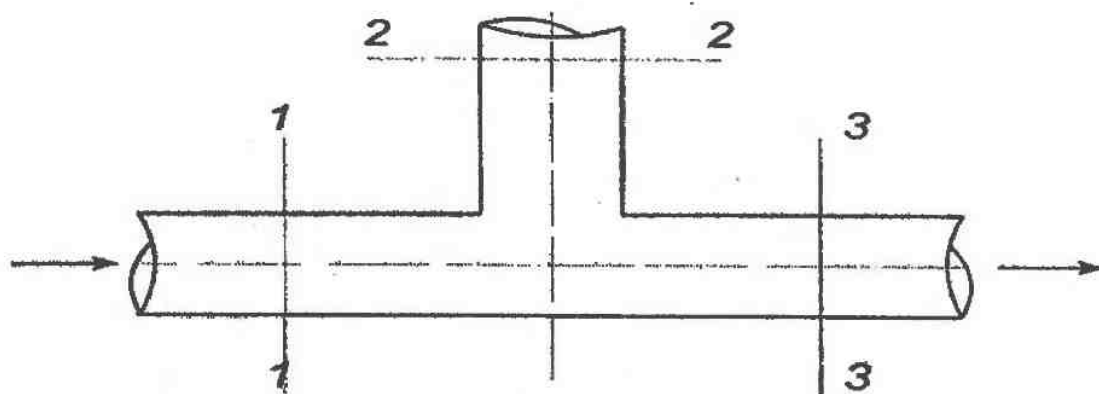
6.8-есеп.

Сорғының жұмыс доңғалағынан $c_2=20\text{ м/с}$ жылдамдықпен шыққан су спираль камераға тарайды. Таралуға шығындалатын арынды табыңыз, егер спираль камерадағы судың орташа жылдамдығы $c=0,7c_2$ болса.

Ескерту: Борд-Карно теоремасы бойынша есептеледі.

6.9-есеп.

36-суреттегі арынды күбыр өткізгіштің тармақталуындағы арын шығындары $h_{1,3}$ және $h_{1,2}$ шамаларын табыңыз.



36-сурет

Шешімі:

Ақпаның 1-1 қимамен 3-3 қималары арасындағы шығындалатын арынын Борд формуласы арқылы анықтайды

$$h_{1-3} = \frac{(g_1^2 - g_3^2)}{2g},$$

ал,

$$h_{1-2} = \frac{\xi_{1-2} g_2^2}{2g},$$

ξ_{1-2} – кедергілік коэффициентін жуықтап екіге тең деп аламыз,
 $\xi_{1-2} \cong 2$.

6.10-есеп.

Түзу сызықты құбыр учаскесіндегі жергілікті кедергілердің арасы (вентиль, конфузор, диффузор және т.б.) қандай болуы керек?

Жауабы:

Жергілікті кедергілер коэффициенттерін қосу арқылы арын шығынын табу, тек барлық қималардағы жылдамдықтар эпюралары бір-бірінен аз ғана өзгертіндей боп орналасатын кедергілер тобында ғана орын алады. Бұл аралықты мына формула бойынша табады

$$L = 0,5 \xi_{\text{жб}} d / \lambda.$$

Мұндағы: L - жергілікті кедергілердің бір-біріне әсері ескерілмейтіндей аралық;

$\xi_{\text{жб}}$ – квадраттық облыстағы жергілікті кедергі коэффициенті;

d – құбырдың диаметрі;

λ - бойлық үйкеліс кедергі коэффициенті.

6.11-есеп.

Құбырдағы сұйық қозғалысының дамыған тұрбуленттік режимінде бойлық арын шығыны,

$$h_6 = K_4 \mathcal{G}^2. \quad (1)$$

Осы формуладағы коэффициент K_4 неге тең?

Шешімі:

Құбырдағы дамыған тұрбуленттік режимдегі сұйық қозғалысының арын шығыны Вейсбах – Дарси формуласы бойынша,

$$h_6 = \lambda_T \frac{\ell v^2}{d 2g}. \quad (2)$$

Көэффициент λ_T Шифринсон формуласында

$$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{\Delta_2}{d} \right)^{0,25}. \quad (3)$$

Сондықтан

$$h_6 = 0,11 \left(\frac{\Delta_2}{d} \right)^{0,25} \frac{\ell v^2}{d 2g}. \quad (4)$$

(1) және (4) формулаларды салыстырып,

$$K_4 = 0,11 \left(\frac{\Delta_2}{d} \right)^{0,25} \frac{\ell}{2gd}, \quad (5)$$

екенін көреміз.

6.12-есеп.

Құбырлардағы су қозғалысы қандай режимде болады, егер су температурасы $t = 20^0 \text{ C}$, жылдамдық $\mathcal{G} = 1 \text{ м/с}$ болса?

Шешімі:

Рейнольдстің белгі саны

$$Re_o = \frac{Vd}{\nu} = 2320.$$

Судың кинематикалық тұтқырлық коэффициенті

$$\nu = 0,01 \text{ см}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Сонда құбыр диаметрі

$$d = \frac{\nu \cdot Re_o}{V}$$

$$d = \frac{10^{-6} \cdot 2320}{1} = 2,32 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,32 \text{ мм}.$$

Осы диаметрден үлкен құбырлардың бәрінде түрбулентті режим орын алады. Ал 2,32 мм құбыршаны түтік деп атайды.

6.13-есеп.

Құбырдағы бірқалыпты сұйық қозғалысында, ламинарлық режимде, бойлық арын шығыны,

$$h_o = K_1 v ,$$

коэффициент K_1 неге тең ?

Шешімі:

Пуазейль заңы бойынша

$$h_o = \frac{32\nu}{g} \frac{\ell}{d^2} v.$$

Осы формуладағы

$$\frac{32\nu}{g} \frac{\ell}{d^2} = K_1 = const.$$

Сондықтан ламинарлық режимде бойлық арын шығыны жылдамдыққа тура пропорционал.

6.14-есеп.

Қап айналымына байланысты, француз дәрігері Пуазейль 1840-1841 ж.ж., капилляр түтіктердегі су қозғалысын зерттеп (тәжірибе түрінде) бойлық арын шығынын есептеу үшін мына формуласы ұсынды,

$$h_0 = \frac{32\nu \ell}{g d^2} v.$$

Бұл формула Вейсбах-Дарси формуласынан,

$$h_0 = \lambda \frac{\ell v^2}{d 2g},$$

оңай алынады, қорытын шығарыңыз.

Шешімі:

Ағыстың ламинарлық режимінде гидравликалық кедергі коэффициенті $\lambda = \frac{64}{Re}$ екенін ескеріп Вейсбах-Дарси формуласы мына түрде жазып алайық

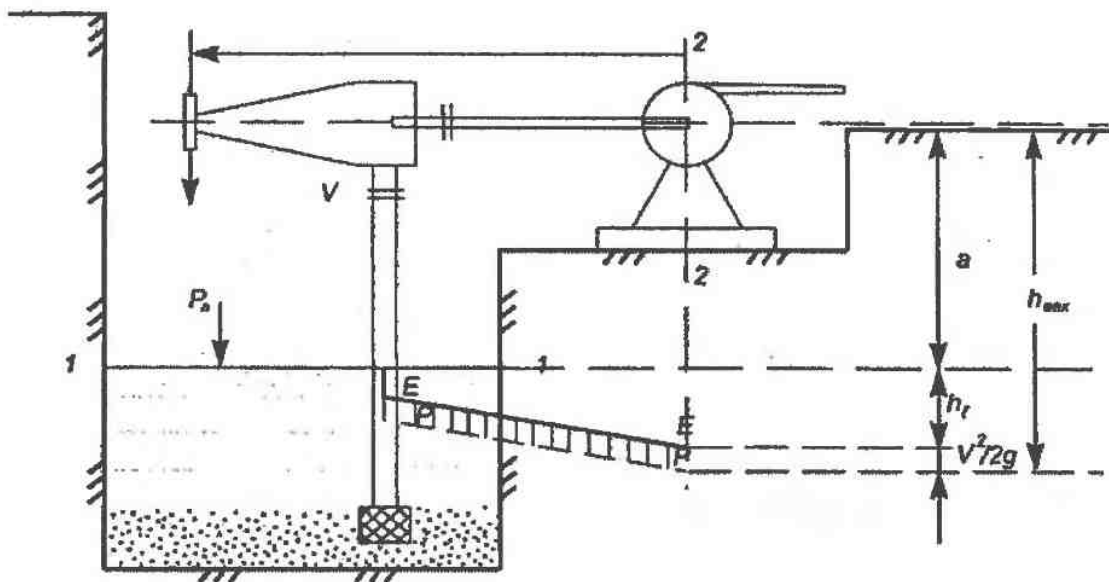
$$h_0 = \frac{64\nu \ell v^2}{v_d d 2g}.$$

Бұдан

$$h_0 = \frac{32\nu \ell}{g d^2} v.$$

6.15-есеп.

Егер сорғының жұмыс доңғалағының алдындағы вакуум $(h_{\text{мук}})_c = 6,5\text{ м}$, сору желісінің толық кедергі коэффициенті $\xi_j = 4$, сору құбырындағы су жылдамдығы $\mathcal{Q} = 2\text{ м/с}$ болса, онда сорғыны су бетінен қандай биіктікке орналастыру керек?



37-сурет

6.16-есеп.

Құбырдың бойлық арын шығыны $h_с = \zeta_с \frac{v^2}{2g}$ формуласымен табылады. Осы формуладағы $\zeta_с$ - бойлық кедергі коэффициенті қалай табылады?

Шешімі:

Вейсбах-Дарси формуласы бойынша

$$h_с = \lambda \frac{l v^2}{d 2g}.$$

Есеп шартындағы формуламен салыстырсақ

$$\zeta_с = \lambda \frac{l}{d}$$

екенін көреміз.

Формуладағы:

λ – гидравликалық үйкеліс коэффициенті;

l – құбыр ұзындығы;

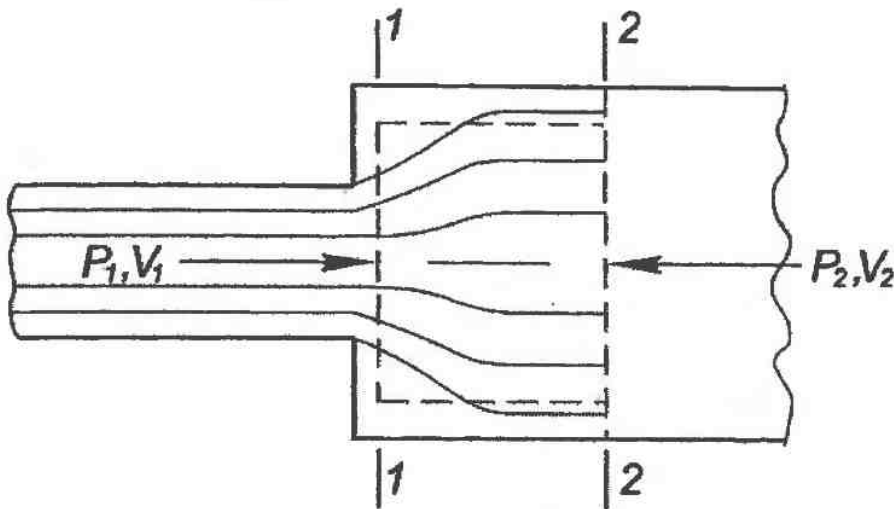
d – құбыр диаметрі.

6.17-есеп.

Борд теоремасын қорытып шығарып, одан жергілікті кедергі коэффициентінің ($\zeta_{ж.к.}$) мәнін табыңыз.

Шешімі:

Борд теоремасын қорытып шығарайық. Ол үшін құбырдың кенет кеңейіп кетуін қарастырайық (38-сурет).



38-сурет

1-1 және 2-2 қимаға әсер етуші сыртқы күштер

$$P_1 S_1 + P_1 (S_2 - S_1) - P_2 S_2 = (P_1 - P_2) S_2. \quad (1)$$

Бұл күш қозғалыс мөлшерінің өзгеруі туралы теорема бойынша

$$(P_1 - P_2) S_2 = \rho Q (V_2 - V_1). \quad (2)$$

Үзіліссіздік теңдеуін пайдаланып өтімді былай жазып алайық

$$Q = V_1 S_1 = V_2 S_2. \quad (3)$$

Енді (2) теңдеуді мына түрде жазайық

$$P_1 - P_2 = \rho v_2 (v_2 - v_1). \quad (4)$$

Бернулли теңдеуінен арын шығынын мына өрнек арқылы табады ($z_1 = z_2; \alpha_1 = \alpha_2 = 1$)

$$h_{k.k} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}. \quad (5)$$

(4), (5) теңдеулерден құбырдың кенет кеңейгендегі орын алатын арын шығынын табамыз

$$h_{k.k} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (6)$$

немесе $v_2 = v_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$ екенін ескеріп (6) формуланы түрлендіріп жазайық

$$h_{k.k} = \frac{\left[v_1 - v_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2 = \zeta_{k.k} \cdot \frac{v_1^2}{2g}. \quad (7)$$

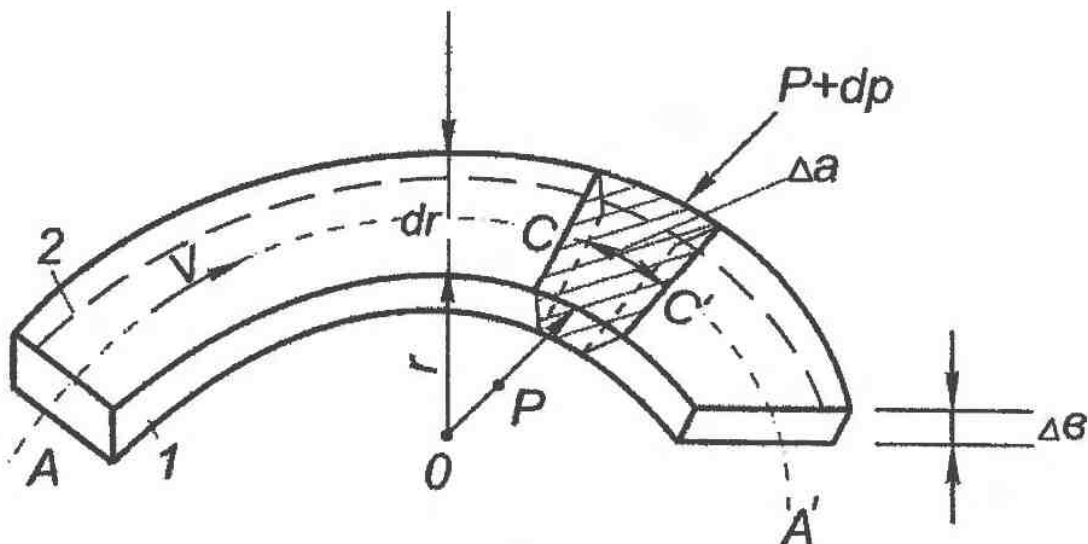
(7) – формуладан көрініп тұрғанындай, құбыр кенет кеңейгендегі жергілікті кедергі коэффициенті

$$\zeta_{k.k} = \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right]^2. \quad (8)$$

Егер $d_2 > d_1$ болса, онда $\zeta_{k.k} \rightarrow 1$ (құбырдың резервуарға қосылуы).

6.18-есеп.

39-суретте көрсетілген горизонталь ақпа AA^1 өз өсі бойымен g жылдамдықпен қозғалады. Сыртқы қабырғаға әсер етуші орталықтан тепкіш инерция күші $\left(\frac{mg^2}{r} \right)$ сол жердегі қысымды арттырады. Артқан қысымды табыңыз.



39-сурет

Шешімі:

C-C¹ қимасына әсер етуші орталықтан тепкіш инерция күші - $F_{ин} = \rho da * dr * db \frac{v^2}{r}$, ал ол күш қысым күшіне $dP = dp * da * db$ ($F_{ин} = dP$), сондықтан

$$\frac{v^2}{r} \rho da * dr * db = dp * da * db. \quad (1)$$

(1) – теңдеуден артқан қысым

$$dp = \rho v^2 \frac{dr}{r}. \quad (2)$$

Айнымалы шамалардың шектерін қойып интегралдаймыз

$$p \Big|_{p_1}^{p_2} = \rho v^2 \ln r \Big|_{r_1}^{r_2}$$

немесе

$$p_2 = p_1 + \rho v^2 \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (3)$$

Артқан қысым

$$P_2 - P_1 = \rho g^2 \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (4)$$

6.19-есеп.

Құбыр айналмасының ортасына түсетін қысым күшін (P_R) табыңыз, егер құбыр ішіндегі сұйық қысымы P болса (40-сурет).

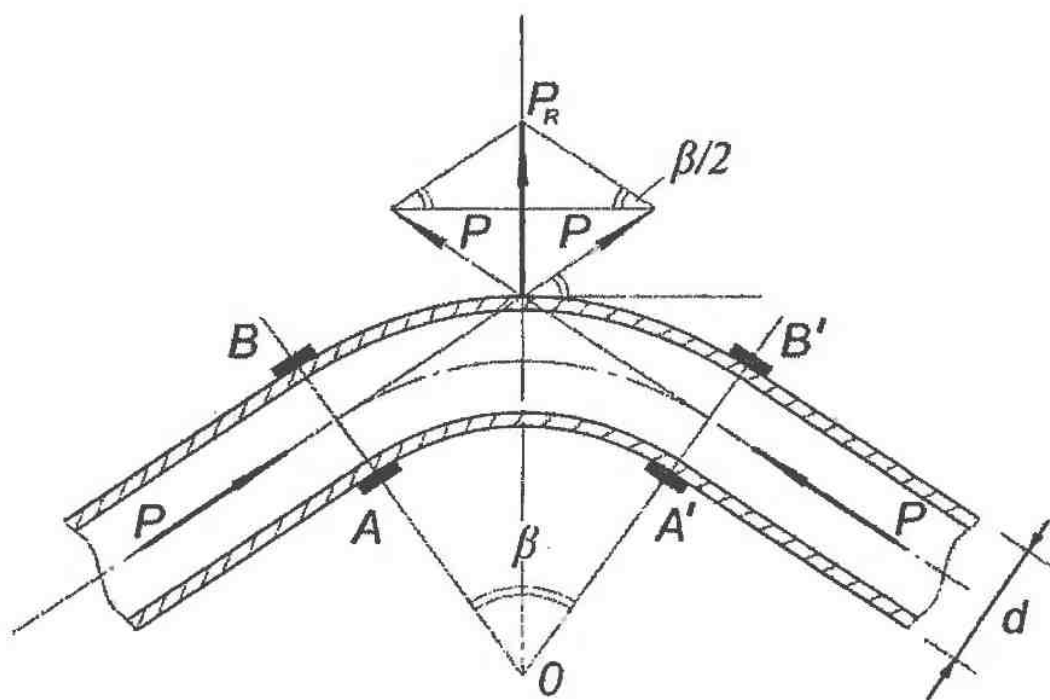
Шешімі:

$ABA'B'$ көлемінде тепе-теңдік (тыныштық) күйін сақтап тұрған сұйыққа екі жағынан бірдей сұйық қысымы және қабырға реакциялары әсер етеді. Белсенді күш шамасы

$$P = p \frac{\pi d^2}{4}.$$

Егер құбыр бастапқы бағытынан β бұрышын жасап айналса, онда айналма ортасына түсетін қысым күші

$$P_R = 2P \sin \frac{\beta}{2} = \frac{\pi d^2}{2} p \sin \frac{\beta}{2}.$$



40-сурет

Бұл күш құбырды сыртқа қарай сүйреп оны орнынан қозғап жіберуі мүмкін. Сондықтан мұндай айналмаларға бетон-тірек орнатады.

6.20-есеп.

Цилиндр құбыр ішіндегі сұйықтың ең үлкен қысымы $P=10a$ болуы мүмкін, құбыр қабырғасының қалыңдығы (δ) қандай болу керек ?

Шешімі:

$ABCA^1B^1C^1$ жарты цилиндрлі қысық бетке (41-сурет) түсетін қысым күші, ACA^1C^1 төртбұрышты жазық (бойлық) қимаға түсетін қысым күшіне тең болғандықтан

$$P = pld . \quad (1)$$

Ал құбырдың қабырғасын кернейтін қысым күші

$$P = 2\pi r \delta \cdot \tau = \pi d \delta \tau \quad (2)$$

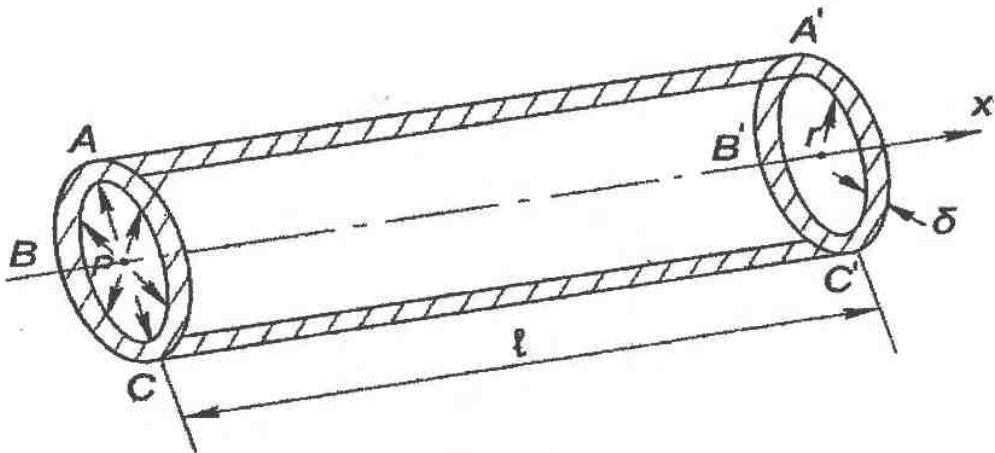
δ – құбыр қалыңдығы;
 τ – кернеу.

(1) және (2) теңдеуден

$$pl = \pi d \tau \quad (3)$$

немесе құбыр қалыңдығы

$$\delta = \frac{pl}{\pi \tau} . \quad (4)$$



41-сурет

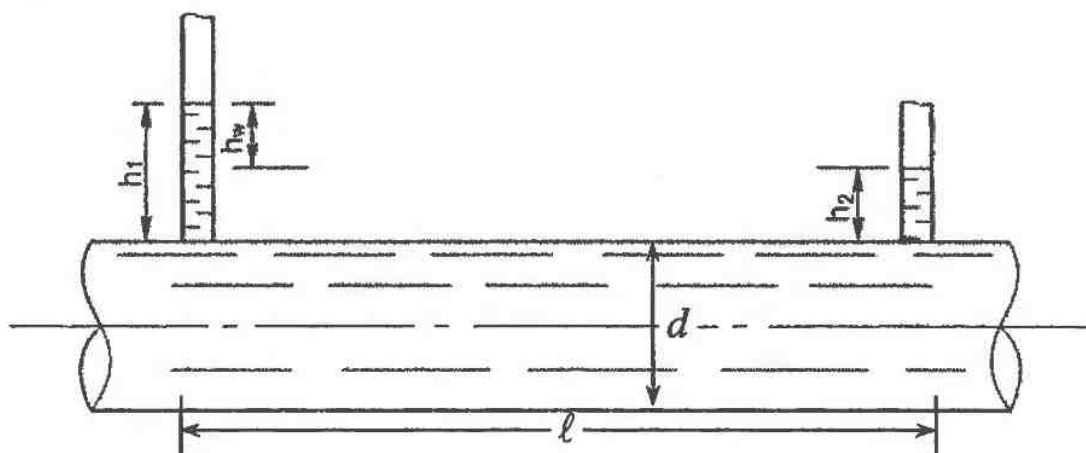
6.21-есеп.

Ұзындығы ℓ , диаметрлері d (42-сурет), өтімдері бірдей құбырлардың біріншісінде (42а-сурет) сұйық түзу сызық бойымен, екіншісінде (42б-сурет), I-қимада бұралып ағады да II-қимада түзу сызықты ағынға көшеді. Қайсысында арын шығыны көп болады? Неге?

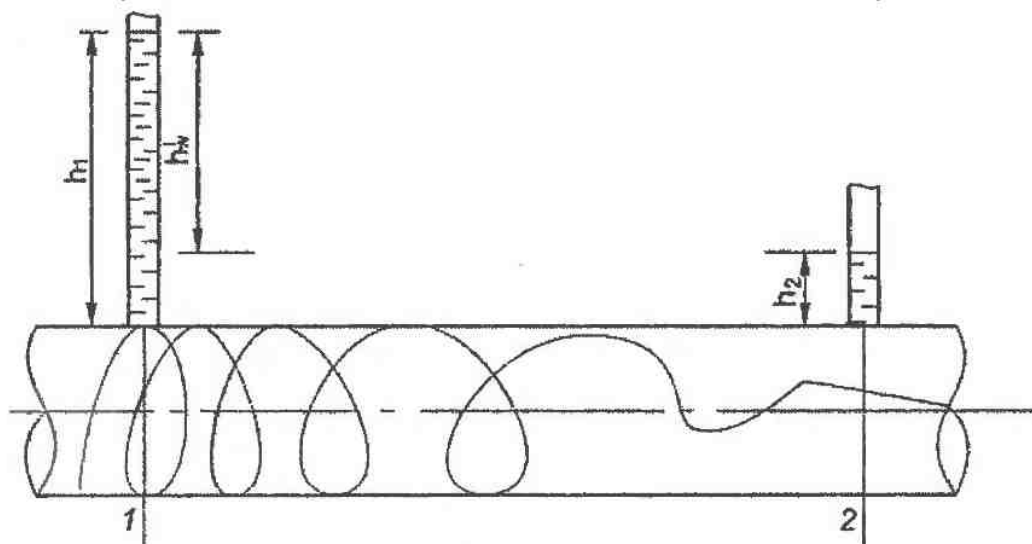
Жауабы:

Екіншісінде (42б-сурет) арын шығыны көп болады ($h'_w > h_w$), өйткені сұйық жолы ұзарады, кедергі артады және ортадан тепкіш күш әсерінен I-қимадағы пьезометр көрсеткіші 42а-суреттегімен салыстырғанда көп болады.

а)



б)



42-сурет

6.22-есеп.

Су тасымалдайтын, диаметрі $d=500$ мм құбыр желісінің өтім қимасының екі нүктесінде жылдамдықтар өлшенді: қабырғадан $y=110$ мм арақашықтықта $u=2,3$ м/с және құбыр өсінде $u_{\max}=2,6$ м/с. Құбыр ұзындығының 1 м-не үйкеліске шығындалатын арын шығынының шамасын табыңыз.

Шешімі:

1. Төмендегі формуламен ұзындық бойындағы гидравликалық кедергі коэффициентінің шамасын анықтаймыз

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(\frac{y}{r_0} \right)^{0,9\sqrt{\lambda}} \quad (1)$$

$$\text{Мұндағы } r_0 = \frac{d}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{ мм}$$

(1) – теңдеуді логарифмдейміз

$$\lg \frac{u}{u_{\max}} = 0,9\sqrt{\lambda} \lg \frac{y}{r_0}. \quad (2)$$

Бұдан

$$\lambda = \left[\frac{\lg \frac{u}{u_{\max}}}{0,9 \lg \frac{y}{r_0}} \right]^2 = \left[\frac{\lg \frac{2,3}{2,6}}{0,9 \lg \frac{110}{250}} \right]^2 = 0,0286.$$

2. Төмендегі байланыстылықты қолданып ағыстың орташа жылдамдығын табамыз

$$\frac{u_{\max}}{\nu} = 1 + 1,35\sqrt{\lambda} = 1 + 1,35\sqrt{0,0286} = 1,228;$$
$$\nu = \frac{2,60}{1,228} = 2,11 \text{ м/с.}$$

3. Вейсбах-Дарси формуласы бойынша құбырдың 1 м ұзындығына шығындалатын арын шығынын анықтаймыз

$$\frac{h_w}{\ell} = \frac{\lambda v^2}{d 2g} = \frac{0,0286 \cdot 2,11^2}{0,5 \cdot 19,6} = 0,0130 \text{ м су бағ.}$$

6.23-есеп.

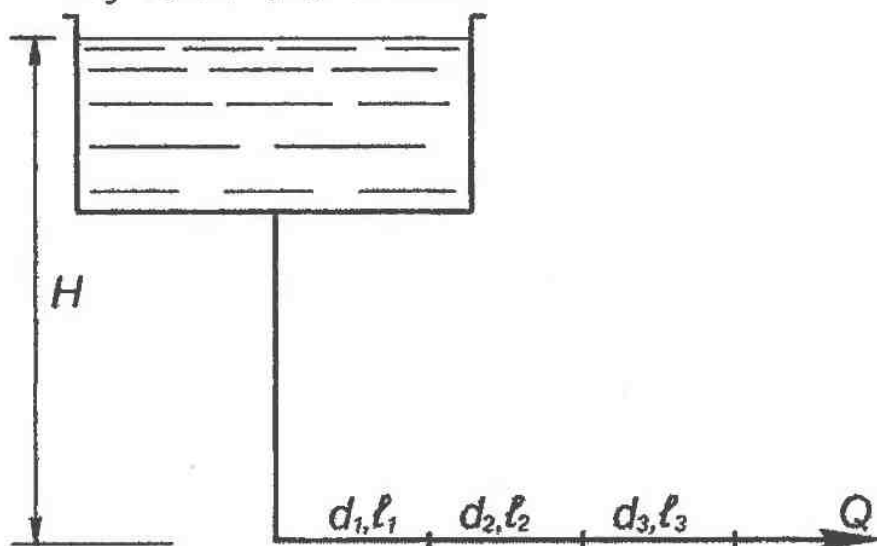
Бір-біріне жалғасып жатқан құбырлардан тұратын желі үшін керекті арын (H) мөлшерін (43-сурет) анықтаңыз.

Берілгені: $Q=35,4$ л/с;

$\ell_1=2,5$ км; $d_1=150$ мм;

$\ell_2=3,125$ км; $d_2=200$ мм;

$\ell_3=3,75$ км; $d_3=150$ мм.



43-сурет

Шешімі:

Ұзын құбырлар желісі болғандықтан, тек бойлық арын шығындарын анықтаймыз,

$$H = Q^2 \cdot \frac{L}{K^2}, \text{ м немесе } H = Q^2 \frac{1000}{K^2} \cdot L, \text{ м.}$$

Бұл жерде: K - өтімдік сипаттама, $K=f(d)$, анықтамадан алынады;
 L - құбыр ұзындығы.

Әрбір учаске үшін арын шығындарын анықтаймыз:

$$H_1 = Q^2 \cdot \frac{1000}{K_1^2} \cdot \ell_1 = 35,4^2 \cdot \frac{1000}{186,3^2} \cdot 2,5 = 90,27 \text{ м},$$

бұл жерде, $K_1=186,3$ л/с; $d_1=150$ мм кезде.

$$H_2 = Q^2 \cdot \frac{1000}{K_2^2} \cdot \ell_2 = 35,4^2 \cdot \frac{1000}{398^2} \cdot 3,125 = 24,72 \text{ м}$$

$d_2=200$ мм кезде $K_2= 398$ л/с.

$$H_3 = Q^2 \cdot \frac{1000}{K_3^2} \cdot \ell_3 = 35,4^2 \cdot \frac{1000}{186,3^2} \cdot 3,75 = 135,40 \text{ м},$$

$d_3=150$ мм кезде $K_3=186,3$ л/с.

Сонда қажетті арын

$$H = H_1 + H_2 + H_3 = 90,27 + 24,72 + 135,40 = 250,39 \text{ м}.$$

6.24-есеп.

Сорғының жұмыс доңғалағынан $c_2=20$ м/с жылдамдықпен шыққан су спираль тәрізді әкеткіш арқылы диффузорға беріледі. Спираль тәрізді әкеткіштегі орташа жылдамдық $g_2 \approx 0,7c_2$ деп есептеп ондағы арын шығынын табыңыз.

Шешімі:

Жұмыс доңғалағынан шыққан су спираль тәрізді әкеткіште соққыға тап болғандықтан (кенет кеңейгендіктен) арын шығыны Борд-Карно теоремасы бойынша есептеледі

$$\Delta h_w = \frac{(c_2 - g_2)^2}{2g}$$

немесе

$$\Delta h_w = \frac{(0,3c_2)^2}{2g} \cong 1,8 \text{ м.су.бағ.}$$

6.25-есеп.

Гидравликалық кедергілерді сараптаудың жалпы формуласын

$$h_w = \zeta \frac{g^2}{2g} \text{ Эйлер белгісінен табыңыз.}$$

Шешімі:

Эйлер белгісінен

$$E_u = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho g^2} = \frac{\rho g h_w}{\frac{1}{2} \rho g g^2} = \frac{h_w}{\frac{g^2}{2g}}$$

немесе

$$h_w = E_u \frac{g^2}{2g}, \text{ бұдан } \zeta = E_u \text{ болғанда } h_w = \zeta \frac{g^2}{2g}$$

мұндағы h_w -арын шығыны;

$$\frac{g^2}{2g} \text{ -жылдамдық арыны.}$$

6.26-есеп.

Бірқалыпты ағын үшін қорытылған бойлық кедергінің жалпы (Вейсбах-Дарси) формуласынан, $h_\delta = \lambda \frac{\ell}{4R} \frac{g^2}{2g}$, Шезидің

жылдамдықты анықтайтын формуласын, $g = C \sqrt{R J}$ табыңыз (R-гидравликалық радиус; J-гидравликалық еңістік; C-Шези коэффициенті).

Шешімі:

Бірінші формуладан

$$g = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{R \frac{h_\delta}{\ell}}.$$

Бірлік ұзындыққа тиісті арын шығыны

$$\frac{h_{\delta}}{\ell} = J, \text{ ал } \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = C \text{ десек,}$$

$$\vartheta = C\sqrt{RJ}.$$

6.27-есеп.

Диаметрі $d=100\text{мм}$ құбырөткізгішпен өтімі $Q=10\text{л/с}$ мұнай айдалып жатыр.

Анықтау керек:

- 1) температурасы $t=10^{\circ}\text{C}$ қозғалыс режімі қандай болады?
- 2) сол температурадағы белгі жылдамдық ($\vartheta_{\text{б.т.}}$) неге тең?

Ескерту: Рейнольдс белгі санының төменгі көрсеткіші, $Re_{\text{б.т.}}=2300$.

- Жауабы:* 1) тұрбулентті;
2) ($\vartheta_{\text{б.т.}}$) = 0,95 м/с.

7. Сұйықтың тесіктер мен қондырмалардан ағып шығуы

7.1-жаттығу.

Қандай тесікті шағын тесік деп атайды?

Жауабы:

Егер тесіктің биіктігі 0,1Н-тан аспаса, бұл жерде, Н – тесік алдындағы арын шамасы.

7.2-жаттығу.

Шағын тесіктен өтетін өтімді қалай анықтайды?

Жауабы:

$$Q = v\omega_c = \varphi\varepsilon\omega\sqrt{2gH} = \mu\omega\sqrt{2gH},$$

μ – өтім коэффициенті, $\mu = \varphi\varepsilon$;

φ – жылдамдық коэффициенті,

$$\varphi = 1/\sqrt{1 + \xi},$$

$$\xi = (1/\varphi^2) - 1,$$

ε – ақпаның сығылу коэффициенті, $\varepsilon = \omega_c/\omega$,

ω_c – сығылу қимасындағы ақпа ауданы;

ω – тесіктің ауданы.

Диаметрі $d > 1$ см шағын тесіктер үшін бұл коэффициенттерді жуықтап қабылдауға болады:

$\varepsilon = 0,61 \dots 0,63$; $\varphi = 0,97 \dots 0,98$; $\mu = 0,60 \dots 0,62$; $\xi = 0,04 \dots 0,06$.

7.3-жаттығу.

Гидравлика пәні ұғымында үлкен тесіктер деп қандай тесіктерді атайды?

Жауабы:

Қарастырылып отырған тесіктің биіктігі 0,1 Н-тан шамасы асатын болса.

7.4-жаттығу.

Гидравлика практикасында қолданылатын үлкен тесіктерден шыққан өтімді қалай анықтайды?

Жауабы:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0},$$

Мұндағы:

$$H_0 = H + v_0^2 / 2g,$$

v_0 – тесікке таяну жылдамдығы;

H – тесіктің ауырлық орталығынан есептегендегі арын (тегеуірін) биіктігі.

Тіктеме қабырғадағы тікбұрышты тесіктен өтетін сұйық өтімі

$$Q = (2/3) \mu^1 b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}),$$

μ^1 - өтім коэффициенті, $\mu^1 \approx \mu$ (μ -шағын тесіктердің өтім коэффициенті);

b – тесіктің ені;

H_1, H_2 – тиісінше, тесіктің төменгі және жоғарғы қырынан есептегендегі арын (тегеуірін).

7.5-жаттығу.

Сумен көмілген тесіктен шығатын өтімді қай формуламен табады?

Жауабы:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz_0},$$

$$z_0 = z + v_0^2 / 2g,$$

z – жоғарғы және төменгі бьефтердегі су деңгейлерінің айырымы.

7.6-жаттығу.

Тесік сумен толық көмілмеген жағдайда өтімді қалай есептейді?

Жауабы:

$$Q = \sigma \mu \omega \sqrt{2gH'},$$

$H' = (H_1 + H_2) / 2$ – тесіктің ауырлық орталығынан алғандағы жоғарғы бьефтегі арын (тегеурін);

σ – тесіктің көмілген деңгейін есепке алатын коэффициент. Егер төменгі бьефтегі су деңгейі тесіктің жартысына жетпесе, онда $\sigma \approx 1$ деп алса, көп қате кетпейді.

7.7-жаттығу.

Сыртқы цилиндрлік қондырманың сығылған қимасында вакуумның шамасы қандай болады?

Жауабы:

$$h_{\text{вак}} = (0,75 \dots 0,80) H.$$

7.8-жаттығу.

Гидротехникалық практикада воронкалар (иірімді құбылыстар) қандай жағдайларда пайда болады?

Жауабы:

Түптік үлкен тесікті резервуарларды судан босатқанда, сорғылардың сору желісінің айналасында, қалқан мен аратіреу арасындағы бұрышта.

7.9-жаттығу.

Жұқа қабырғадағы тесіктен атмосфераға шығатын су өтімі $Q_T = 0,62 \omega \sqrt{2gH}$, ал дәл сол тесікке қойылған сыртқы қондырғыдан (Вентури қондырғысынан) шығатын өтім

$$Q_B = 0,82 \omega \sqrt{2gH}.$$

Қандай жағдайдағы су өтімі көп? Өтім қанша пайызға көбейеді, неге?

7.10-жаттығу.

Жұқа қабырғадағы тесіктен атмосфераға шығатын сұйық жылдамдығы

$Q_T = 0,97\sqrt{2gH}$, ал дәл сол тесікке қойылған сыртқы қондырғыдан (Вентури қондырғысынан) шығатын сұйық жылдамдығы

$$Q_B = 0,82\sqrt{2gH},$$

Қай жағдайда жылдамдық көп (%)?

7.11-жаттығу.

Жоғарыда келтірілген екі жаттығудан байқағанмыз, Вентури қондырғысы арқылы сұйық аққанда жылдамдық аз болғанымен өтім көп, неге?

7.12-жаттығу.

Вентури қондырғысының ұзындығы 3,5 диаметрден кем болған жағдайда, қондырғы суға толып ақпайды, неге?

Жауабы: Қондырғы ұзындығы аз болғандықтан ақпа диаметрі кеңейіп қондырғы диаметріне тең бола алмай қалады, сондықтан сырттан ауа кіріп кетеді де сұйық атмосфераға шығып жатқандай болады.

7.1-есеп.

Қалқанның астынан еркін, көмілмей шығып жатқан судың өтімін табыңыз, егер тесіктің ені $b=1,5$ м, биіктігі $a=0,7$ м, ал қалқан алдындағы тегеурін $H=2,0$ м болса.

Шешімі: Алдымен ағынның сығылу дәрежесін табайық
 $n=a/H = 0,7/2,0 = 0,35$.

Енді ақпаның сығылу коэффициентін анықтайық
 $\varepsilon = 0,57 + 0,043/(1,1-n) = 0,57 + 0,043/(1,1-0,35) = 0,627$.

Өтім,

$$Q = \frac{\varphi\varepsilon}{\sqrt{1+\varepsilon n}} \cdot ab\sqrt{2gH} =$$
$$= \frac{0,627}{\sqrt{1+0,627 \cdot 0,35}} \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 4,43\sqrt{2} = 3,72 \frac{m^3}{c}$$

7.2-есеп.

Түптік тесіктің диаметрі $D=1\text{ м}$, судың өтімі $Q=3\text{ м}^3/\text{с}$. Егер ағын атмосфераға шығып жатқан болса, тегеурін қандай болған жағдайда ауа ағыны тесікке жетіп, воронка пайда болады?

Шешімі:

Тесіктің сығылған қимасындағы судың жылдамдығын анықтайық

$$v=Q/\omega_c=Q/\varepsilon(\pi D^2/4)=4*3/0,64*3,14*1^2=6\text{ м/с}.$$

Алмағайып арынды (тегеурінді) есептейік,

$$H_{\text{ал}}=0,5D(v/\sqrt{gD})^{0,55}=0,5*1(6/\sqrt{9,81*1})^{0,55}=0,72\text{ м}.$$

Егер тегеурін осы алмағайып арыннан кем болса, онда суда воронка пайда болады.

7.3-есеп.

Көмілген ақпа диаметрі $d_0=20\text{ мм}$ қондырмадан ытқып шығып сулы ортаға тарайды. Бастапқы учаске ұзындығын анықтаңыз.

Жауабы:

Бастапқы учаске ұзындығы Г.П.Абрамовичтың жартылай эмпирикалық формуласымен табылады

$$X_s = \frac{0,67}{a} r_0,$$

a -тұрақты шама, өске симметриялы ақпа үшін $a \cong 0,07...0,08$;

r_0 -қондырма радиусы.

$$X_s = \frac{0,67}{0,075} 0,01 = 0,089\text{ м}.$$

А.Я. Миловичтың ұсынысы бойынша $X_s = 6d_0 = 0,12\text{ м}$.

7.4-есеп.

Радиусы $r_0=20\text{ мм}$ қондырмадан шығып жатқан ақпа су ішінде тарайды. Ақпа басынан 30 см-лік жерде көмілген еркін ақпаның радиусы қандай болады?

Жауабы:

Көмілген еркін ақпаның радиусы бастапқы қимадан алыстаған сайын көбейеді

$$r = \left(3,4 \frac{ax}{r_0} + 1 \right) r_0, \text{ (Г.П. Абрамович)}$$

немесе

$$r = \left(3,4 \frac{0,075 \cdot 0,3}{0,02} + 1 \right) 0,02 = 0,096 \text{ м}$$

7.5-есеп.

Бұралған ақпа су ішіне таралады. Оның тангенциалды жылдамдығының өстік жылдамдыққа қатынасы $\eta_p = \frac{g_{\varphi \max}}{g_{z \max}} = 0,4$.

Жұмыстық сұйық шығатын тесіктің 10 диаметріндей арақашықтықта бастапқы сұйыққа қанша сұйық массасы қосылар еді.

Шешімі:

Қосылған салыстырмалы сұйық массасын $\frac{G - G_0}{G_0} = \Delta G$ П.Мейер

формуласы арқылы табамыз,

$$\Delta G = \left(0,32 \frac{x}{d} + k\theta \right) \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}.$$

Бұл формуладағы

$$\frac{x}{d} = 10 \text{ және одан көп болған жағдайда}$$

тәжірибелік коэффициент $k=4,4$;

θ -бұралу параметрі,

$$\theta = \frac{\eta_p / 2}{1 - \frac{\eta_p}{2}}, \text{ немесе } \theta = \frac{0,2}{0,8} = 0,25.$$

Біртектес сұйық үшін $\rho_0 = \rho$, сондықтан

$$\Delta G = 0,32 \frac{x}{d} + k\theta,$$

яғни

$$\Delta G = 0,32 \cdot 10 + 4,4 \cdot 0,25 = 3,2 + 1,1 = 4,3.$$

Жұмыстық сұйық шекаралық қабатта өзінің бастапқы өтімін 4,3 есе көбейтеді (эжекция коэффициенті $q=4.3$).

7.6-есеп.

Бұралған ақпа су ішіне таралғанда, $0 \leq \frac{x}{d} \leq 5$ аралығында, эжекция коэффициенті Д.Н. Ляховский формуласы

$$q = 0,5\theta + 0,207(1 + \theta) \frac{x}{d},$$

бойынша есептеледі.

Бұралу параметрі

$$\theta = \frac{\eta_p / 2}{1 - \frac{\eta_p}{2}}; \eta_p = \frac{g_{\varphi_{\max}}}{g_{z_{\max}}} = 0,5 \quad \text{деп қабылдап,} \quad \frac{x}{d} = 5 \quad (\text{калибр})$$

аралықта бастапқы өтім қанша есе көбейетіндігін табыңыз.

Шешімі:

Бұралу параметрін анықтаймыз

$$\theta = \frac{0,5/2}{1 - \frac{0,5}{2}} = \frac{0,25}{0,75} \cong 0,33.$$

Бес калибрлік арақашықтықта сорылатын сұйық мөлшері

$$q = \frac{Q - Q_0}{Q_0} = \frac{\Delta Q}{Q_0}; \quad \Delta Q = qQ_0$$

немесе

$$\Delta Q = \left[0,5\theta + 0,207(1 + \theta) \frac{x}{d} \right] Q_0;$$

$$\Delta Q = [0,5 \cdot 0,33 + 0,207(1 + 0,33) \cdot 5] Q_0 = (0,165 + 1,396) Q_0 = 1,561 Q_0.$$

7.7-есеп.

Тура ағатын ақпаның эжекция коэффициенті П. Мейер формуласымен анықталады,

$$q = 0,32 \frac{x}{d} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}},$$

Жұмыстық сұйық пен сорылатын сұйық біртектес деп 4-ші және 10-шы калибрлердегі бастапқы өтімге қосылатын өтімдердің қандай болатынын есептеңіз.

Жауабы:

1. $\Delta Q = 0,84 Q_0$ (Д.Н. Ляховский)
2. $\Delta Q = 3,2 Q_0$ (П. Мейер)

7.8-есеп.

Гидроэлеватордың жұмыстық ақпасының бұралу параметрі $\theta=0,3$ болған жағдайда 4-ші және 10-шы калибрдегі бастапқы өтімге қосылатын қосымша өтімдер қандай болар еді?

Жауабы:

1. $\Delta Q = 1,24 Q_0$ (Д.Н. Ляховский)
2. $\Delta Q = 4,52 Q_0$ (П. Мейер)

7.9-есеп.

Диаметрі 10 мм шлангіден тегеуріні 20 м су бағаны әсерімен тік шапшып шыққан еркін ақпаның биіктігін табыңыз ($K=0,23 \cdot 10^{-3}$).

Шешімі:

Люгердің формуласы бойынша

$$h = \frac{H}{1 + K \frac{H}{d}},$$

$$h = \frac{20}{1 + 0,23 \cdot 10^{-3} \frac{20}{0,01}} = 13,71 \text{ м.}$$

7.10-есеп.

Құбыр ұшынан H_0 тегеурін әсерімен тік шапшып шыққан ақпа биіктігін (44-сурет) табыңыз.

Шешімі:

Тұтас ақпа үшін қозғалыс мөлшерінің өзгеруі туралы Эйлер теоремасы былай жазылады

$$m\vec{g}_1 - m\vec{g}_2 + \vec{R}_k^* + \vec{R}_s^* = 0. \quad (1)$$

Бұл теңдеудің z -өсіне проекциясы

$$m g_{1z} - m g_{2z} + R_{kz}^* + R_{sz}^* = 0. \quad (2)$$

Теңдеудегі:

m -секундтық масса, $m = \rho g_{1z} \omega_0$;

g_{1z} , g_{2z} — 1-ші және 2-ші қималардағы орташа жылдамдықтар;

$$g_{1z} = \varphi \sqrt{2gH_0};$$

H_0 -ақпа тегеуріні;

R_{kz}^* -көлемдік күштің (G_z) z -өсіне проекциясы,

$$R_{kz}^* = G_z = -\rho gh\omega;$$

h -ақпа биіктігі;

$R_{sz}^* = \sum R_{sz}$ -беттік күштердің z -өсіне проекциялары,

$$R_{sz}^* = P_{1z} - P_{2z} - F_{\gamma\ddot{u}};$$

P_{1z} , P_{2z} -1-ші және 2-ші қималардағы қысым күштерінің проекциялары

$$P_{1z} = P_{1z} \omega_1 = 0,$$

$$P_{2z} = P_{2z} \omega_2 = 0,$$

Сұйық ақпа ішінде де, сыртында да қысым бірдей;

$F_{\gamma\ddot{u}}$ - ақпа мен ауа арасындағы үйкеліс күші

$$F_{\gamma\ddot{u}} = \tau h \chi,$$

τ - ақпа бетіндегі жанама жүктену,

$$\tau = f\rho \frac{g^2}{2};$$

χ -ақпаның сулану периметрі, $\chi = \frac{\omega_0}{R} = \frac{2\omega_0}{r_0}$;

f -үйкеліс коэффициенті;

R -гидравликалық радиус, $R = \frac{r_0}{2}$;

Жоғарыда келтірілген мәліметтерді еске ала отырып (2)-ші теңдеуді былай жазамыз

$$2\varphi^2 \rho g \omega_0 H_0 - \rho g h \omega_0 - 2f\varphi^2 \rho g h \frac{\omega_0}{r_0} H_0 = 0 \quad (3)$$

немесе $\rho g \omega_0$ -ға қысқартқан соң

$$2\varphi^2 H_0 - h - 2f\varphi^2 h \frac{H_0}{r_0} = 0.$$

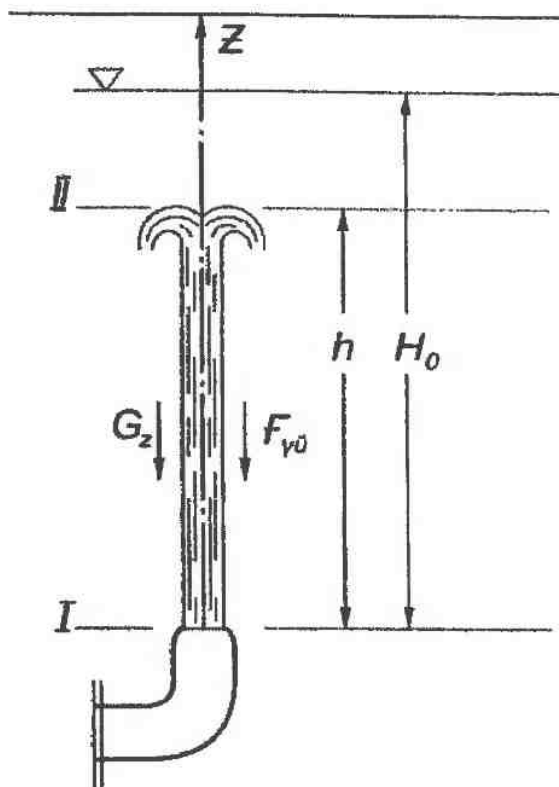
Бұдан

$$h = H_0 \frac{2\varphi^2}{1 + \frac{4f\varphi^2 H_0}{d}} = H_0 \frac{2\varphi^2}{1 + K \frac{H_0}{d}}, \quad (4)$$

$K = 4f\varphi^2$ (М.А. Мостков)

Егер $\varphi \cong 0.75$ деп қабылдасақ, онда (4)-тен Люгердің эмпирикалық формуласы шығады

$$h = \frac{H_0}{1 + K \frac{H_0}{d}}. \quad (5)$$



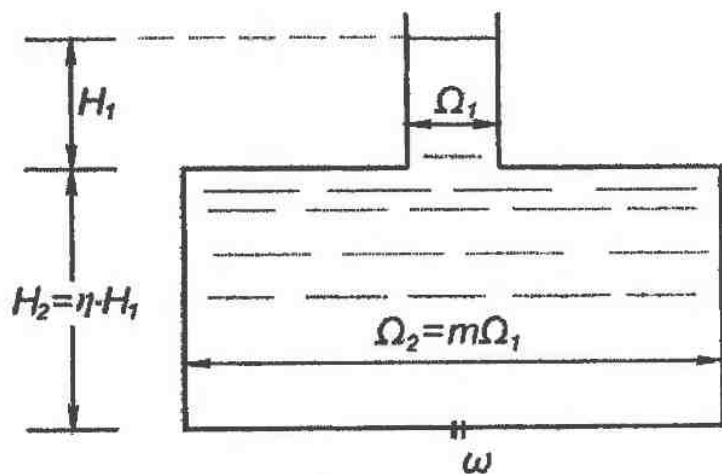
44-сурет

7.11-есеп.

45-суреттегі берілген сұлбе үшін, сыйымдылықты судан толық босату (ағып шығу) уақытын анықтаңыз.

Берілгені: $\Omega_1=4.5 \text{ м}^2$; $H_1=2.5 \text{ м}$; $m=1.8$; $\eta=1.5$; $\omega=22.0 \text{ см}^2$.

Шешімі:



45-сурет

Сыйымдылықтың жоғарғы жағындағы Ω_1 аудан бөлігін судан босату уақытын анықтаймыз,

$$t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}} \cdot (\sqrt{H} - \sqrt{H_2}) = \frac{2 \cdot 4,5}{0,62 \cdot 22 \cdot \sqrt{19,62}} (\sqrt{6,25} - \sqrt{3,75}) = 834c.$$

Бұл жердегі, $H = H_1 + H_2 = 2,5 + (1,5 \cdot 2,5) = 6,25$ м.

Сыйымдылықтың Ω_2 ауданды төменгі бөлігінің судан арылу уақытын былайша анықтаймыз

$$t_2 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}} \cdot \sqrt{H_2} = \frac{2 \cdot 1,8 \cdot 4,5}{0,62 \cdot 0,22 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{19,62}} \cdot \sqrt{3,75} = 5192c.$$

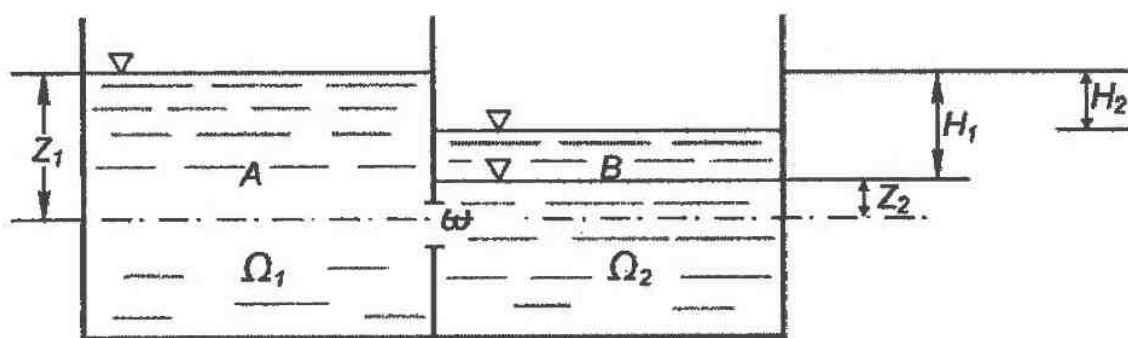
Сыйымдылықтан судың толық ағып біту уақыты,

$$t = t_1 + t_2 = 834 + 5192 = 6026c = 100 \text{ мин. } 26c.$$

7.12-есеп.

Аудандары $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega = 20 \text{ м}^2$ А және В қатынас сыйымдылықтардағы (радиусы 10 см – тесік арқылы) сұйық деңгейлерінің ($H_1 = 5\text{м}$, $H_2 = 2\text{м}$) толық теңесуіне керекті уақытты табыңыз (46-сурет).

Ескерту: Сыйымдылықтардағы деңгейлер айырмасы орын алатын уақыт мына формуламен табылады (Ә.Әбдіраманов. Гидравлика. Тараз 2010, б. 217)



46-сурет

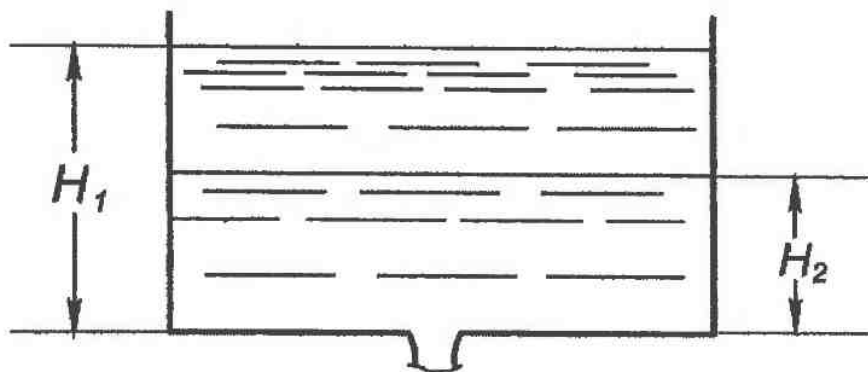
$$t = \frac{2\Omega_1\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}(\Omega_1 + \Omega_2)} \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})$$

Мұндағы μ - өтім коэффициенті, $\mu = 0,62$.

7.13-есеп.

Ыдыстың сұйықтан жартылай босау уақытын табыңыз, егер тесік ыдыстың түбіне орналасқан болса (47-сурет).

Шешімі: t уақыт аралығында тегеуріннің H_1 -ден H_2 -ге дейін кемуі мына формула арқылы өрнектеледі (Ә.Әбдіраманов. Гидравлика. Тараз 2010, б. 215)



47-сурет

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

Есептің шарты бойынша $H_2 = H_1/2$, сондықтан

$$\begin{aligned} t &= \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}} \left(\sqrt{H_1} - \sqrt{\frac{H_1}{2}} \right) = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}} \sqrt{H_1} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}} \left(\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}} \right) = \\ &= \frac{0,41}{1,41} \cdot \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}} = 0,29 \frac{2\Omega H_1}{\mu\omega\sqrt{2gH_1}} = 0,29 \frac{2W}{Q}. \end{aligned}$$

7.14-есеп.

Жазық жұқа қабырғадағы дөңгелек тесіктен су атып шығып жатыр. Тесіктің диаметрі $d=20$ мм. Тесік үстіндегі тегеурін $H_0=64$ см болған жағдайда өтім қандай болар еді? (өтім коэффициентін $\mu = 0,62$ деп алыңыз).

Жауабы: $Q = \mu\omega\sqrt{2gH_0} = 0,7$ л/с.

7.15-есеп.

Жұқа жазық қабырғадағы шағын тесіктен шыққан өтімнен дәл сол тесікке сырттай цилиндр қондырғы қойғандағы өтім 33 пайызға артады. Есептеп көзіңізді жеткізіңіз.

Шешімі:

Сыртқы цилиндр қондырғы үшін $\varphi = 0,82$, сығылу коэффициенті $\varepsilon \approx 0,64$. Сығылу қимасындағы вакуум

$$h_{\text{вак}} = 2\varphi^2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} H_0 = 2 \cdot 0,82^2 \frac{1-0,64}{0,64} H_0 \approx 0,75H_0,$$

сондықтан өтім көбейеді, өйткені

$$Q = \mu\omega\sqrt{2g(H_0 + 0,75H_0)} = 1,33\mu\omega\sqrt{2gH_0}.$$

Жұқа жазық қабырғадағы шағын тесіктен ағып шығатын судың өтімі $Q = \mu\omega\sqrt{2gH_0}$.

Өтімнің 33%-ға көбейгені көрініп тұр.

8. Жасанды сүеткізгіштер мен ашық арналардағы сұйықтың қозғалысы

8.1-жаттығу.

Жасанды тік бұрышты, трапеция және парабола тәріздес арналар үшін гидравликалық ұтымды қима қандай болуы керек?

8.2-жаттығу.

Каналдарды жобалағанда қандай есептер жиі кездеседі? Олардың есебін қандай әдістемемен жүргізеді? Жуып кетпейтін, лай тұндырмайтын жылдамдықтар деген не? Мысал келтіріңіз.

8.3-жаттығу.

Тасындылардың гидравликалық ірілігі деген не? Оны қалай табуға болады? Тұйық қималы арынсыз каналдарды есептеу ерекшелігі неде?

8.4-жаттығу.

Суағарлардың қандай түрлері болады? Оларды сызып, сипаттаңыз.

Жауабы:

- 1) Жұқа қырлы суағарлар;
- 2) Практикалық кескінді суағарлар;
- 3) Жалпақ табанды суағарлар, т.б.

8.5-жаттығу.

Суағарлардың өтімін есептейтін негізгі формула қалай жазылады?

Жауабы:

$$Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2},$$

мұндағы, m – суағардың өтім коэффициенті;

b – суағардың ені;

$$H_0 = H + v_0^2 / 2g.$$

8.6-жаттығу.

Суағарлардың негізгі формуласын табу үшін өлшемдіктер теориясын пайдаланып қорытып шығарыңыз.

Жауабы:

Өлшемдіктер теориясын қолданып былай жазуға болады,

$$Q = cb^x g^y H_0^z,$$

бұл жерде, c – суағардың кескінін көрсететін коэффициент.

Өтім суағар енінің (b) бірінші дәрежесіне пропорционал екендігі белгілі. Олай болса $x=1$, сондықтан

$$[L^3 T^{-1}] = [L] [L T^{-2}]^y [L]^z.$$

L мен T -ның дәреже көрсеткіштерін теңестіреміз. Сонда екі белгісізі бар екі теңдеулер жүйесі пайда болады

$$\left. \begin{aligned} 3 &= 1 + y + z \\ -1 &= -2y \end{aligned} \right\}$$

Осы теңдеулер жүйесінен $y=0,5$ және $z=1,5=3/2$, екенін табамыз, олай болса

$$Q = cb \sqrt{g} H_0^{3/2} = \frac{c}{\sqrt{2}} * b \sqrt{2g} H_0^{3/2}.$$

Осындағы $c / \sqrt{2} = m$ деп белгілеп, суағардың өтімін былай жазамыз

$$Q = mb \sqrt{g} H_0^{3/2}.$$

8.7-жаттығу.

Үшбұрышты суағарды су өлшегіш ретінде қалай пайдаланады?

Жауабы:

бұрышын 90° деп Томсон формуласын қолданады

$$Q = 1,4H^2 \sqrt{H}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

8.8-жаттығу.

Трапециялық суағарлардың өтім формуласын жазып, оны сипаттап беріңіз.

Ескерту: оның салдарларына да көңіл аударыңыз.

8.9-жаттығу.

Сұйықтың қалыптаспаған қозғалысының негізгі теңдеуін жазыңыз, оның қалыптасқан қозғалыстағы Бернулли теңдеуінен айырмасын анықтаңыз.

8.10-жаттығу.

Сұйықтың қалыптаспаған қозғалысының негізгі теңдеуін қысқаша былай жазуға болады

$$H_1 = H_2 + h_w + h_{ин},$$

бұл теңдеудегі: H_1, H_2 - екі қимадағы арын шамасы;

h_w - үйкеліске шығындалған арын;

$h_{ин}$ - инерциалық арын.

Теңдеудің графигін сызып түсіндіріңіз.

8.11-жаттығу.

Әр түрлі сұйықтардың серпімділік модульдерін (E_i) анықтамалардан тауып, оларды бір-бірімен салыстырып, мағынасын түсіндіріңіз.

8.12-жаттығу.

Болаттан, темірбетон, пластмассадан, ағаштан тағы басқа материалдардан жасалған құбырлардың қабырғаларының

серпімділік модульдерін (E_i) анықтамалардан тауып оларды бір-бірімен салыстырып, мағынасын түсіндіріңіз.

8.13-жаттығу.

Гидравликалық соққы толқынының таралу жылдамдығы мына формуламен табылады (Ә.Әбдіраманов. Гидравлика. Тараз 2010, б. 261)

$$c = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E \delta}}}$$

Бұл формуладағы: E_0 - сұйықтың серпімділік модулі;

ρ - сұйық тығыздығы; d, E, δ - кезегімен құбыр диаметрі; құбыр қабырғасының серпімділік модулі; қабырға қалыңдығы.

Гидравликалық соққы толқынының таралу жылдамдығы мен дыбыс жылдамдығының байланысын сипаттаңыз.

8.14-жаттығу.

Гидравликалық соққы кезіндегі қысымның артуы қандай формуламен анықталады?

Жауабы: Н.Е. Жуковский формуласымен

$$\Delta P = \rho v c$$

Формуладағы v, ρ - кезегімен, сұйықтың жылдамдығы мен тығыздығы; c - гидравликалық соққы толқынының жылдамдығы, ол дыбыс жылдамдығына тең.

8.15-жаттығу.

Каналдың (өзеннің) толық арыны (H) мен қимасының үлесті энергиясын (\mathcal{E}) формула түрінде жазып, суретте көрсетіңіз.

8.16-жаттығу.

Қиманың үлесті энергиясының

$$\mathcal{E} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}$$

немесе $\mathcal{E} = f(h)$ графигін сызып, белгі тереңдікті табыңыз.

8.1-есеп.

Суретте (48-сурет) көрсетілген бөгеттерге соғатын толқындардың соққы күш қысымдары қандай болады?

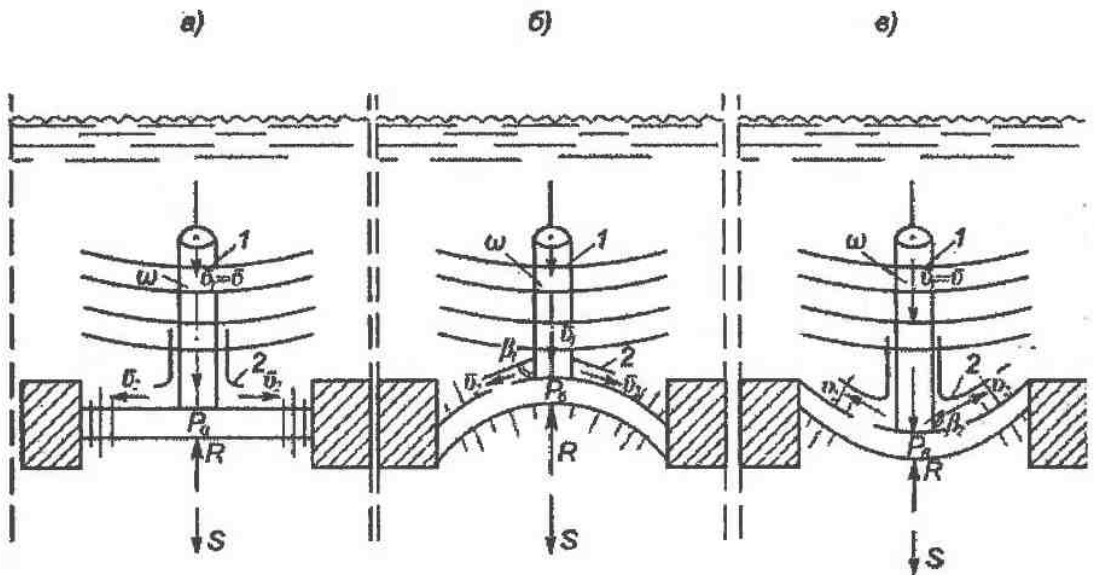
Шешімі:

Уақыт бірлігіне қатысты қозғалыс мөлшерінің өзгеруі толқынның соққы күш қысымына тең, яғни

$$R = (\alpha_0 \rho Q \vartheta_s)_2 - (\alpha_0 \rho Q \vartheta_s)_1.$$

Егер $(\alpha_0)_1 = (\alpha_0)_2 \cong 1$ десек

$$R = \rho Q [(\vartheta_s)_2 - (\vartheta_s)_1].$$



48-сурет

Бұл формуладағы:

$(\vartheta_s)_1$ - жылдамдық $\vec{\vartheta}_1$ -дің S-бағытына проекциясы;

$(\vartheta_s)_2$ - жылдамдық $\vec{\vartheta}_2$ -нің S-бағытына проекциясы.

Сондықтан тура сызықты бөгет реакциясы

$$R = \rho Q [0 - (\vartheta_s)_1] = -\rho Q \vartheta = -\rho \omega \vartheta^2.$$

Толқын соққысының қысым күші (48,а-сурет).

$$P_a = \rho Q \vartheta = \rho \omega \vartheta^2 \quad (1)$$

Ағын бөгетке $\beta_1 < 90^\circ$ бұрыш жасай соққанда

$$R = -\rho Q(g \cos \beta_1 - g).$$

Соққының қысым күші (48,б – сурет)

$$P_6 = -R = \rho Q g (1 - \cos \beta_1). \quad (2)$$

(1) және (2) өрнектерден

$$P_6 < P_a \quad (3)$$

екені көрініп тұр.

Егер бұрыш $\beta_2 > 90^\circ$ (48,в-сурет) болса, онда

$$P_6 > P_a. \quad (4)$$

8.2-есеп.

Модель мен шынайы бөгеттің геометриялық ұқсастық масштабы $\frac{L_2}{L_1} = 1/100$ (49-сурет). Егер модель етегіндегі су жылдамдығы $g_2 = 1 \text{ м/с}$ болса, онда шынайы бөгет етегіндегі жылдамдық қандай болмақ?

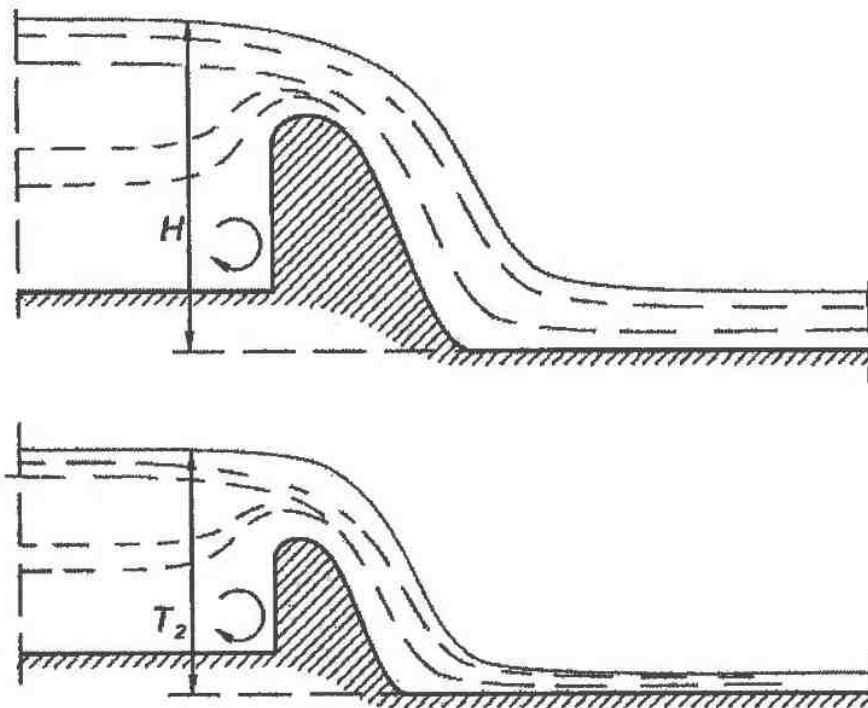
Шешімі:

Бұл жағдайда басқа күштерден ауырлық күш әсері басым, сондықтан Фруд саны (гравитациялық ұқсастық белгісі) сақталуы тиіс

$$\frac{g_1^2}{g_1 L_1} = \frac{g_2^2}{g_2 L_2}.$$

$g_1 = g_2$ болғандықтан,

$$g_1 = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} g_2,$$



49-сурет

немесе

$$g_1 = \sqrt{100g_2} = 10 \text{ м/с}.$$

8.3-есеп.

Жетілген гидравликалық шапшымадағы қосақы тереңдіктер теңдеуін Әбдіраманов теңдеуінен тауып, оның физикалық сипаттамасын беріңіз.

Жауабы:

Әбдіраманов теңдеуінің,

$$\Pi(h_1) - \Pi(h_2) = \bar{\omega}(\bar{J} - i)l_w, \quad (1)$$

оң жағы нөлге тең болса,

$$\bar{\omega}(\bar{J} - i)l_w = 0, \quad (2)$$

онда әлемге белгілі Беланже-Буссинеск теңдеуі шығады

$$\Pi(h_1) - \Pi(h_2) = 0,$$

немесе

$$\Pi(h_1) = \Pi(h_2). \quad (3)$$

Бұл жердегі

$$\left. \begin{aligned} \Pi(h_1) &= \frac{\alpha_0 Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 \\ \Pi(h_2) &= \frac{\alpha_0 Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ω_1, ω_2 -бірінші және екінші өтім қималарының аудандары;

y_1, y_2 -бірінші және екінші өтім қималарындағы ауырлық орталықтарына дейінгі тереңдіктер;

Q -өтім.

(2) теңдеуден көрініп тұрғанындай Беланже-Буссинеск теңдеуі $J=i$ болған жағдайда ғана орын алады. Бұл шарт сұйықтың бірқалыпты қозғалысын сипаттайды. Жетілген гидравликалық шапшыма әрине бейқалыпты қозғалысқа жатады. Бұданшықты Беланже-Буссинеск теңдеуі құбылысты жуықтап сипаттайды.

8.4-есеп.

Жетілген гидравликалық шапшыманың негізгі теңдеуін (Әбдіраманов теңдеуін) жазып, оның физикалық мағынасын анықтаңыз.

Жауабы:

Әбдіраманов теңдеуі былай жазылады

$$\Pi(h_1) - \Pi(h_2) = \bar{\omega} \ell_m (\bar{J} - i) \quad (1)$$

$\Pi(h_1), \Pi(h_2)$ -бірінші және екінші қималардағы шапшыма функциялары;

$\bar{\omega}$ -жетілген гидравликалық шапшыманың орташа өтім қимасының ауданы;

ℓ_m -жетілген гидравликалық шапшыма ұзындығы;

\bar{J} -орташа гидравликалық еңістік;

i -шапшыма табанының еңістігі.

Теңдеудің екі жағын да ρg -ға көбейтіп жазсақ, онда

$$\rho g [\Pi(h_1) - \Pi(h_2)] = \rho \bar{\omega} \ell_m [g(\bar{J} - i)] \quad (2)$$

шығар еді, яғни бірінші және екінші қималарға тіркелген сыртқы күштердің айырмасы $\rho g[\Pi(h_1) - \Pi(h_2)]$ әсерімен шапшымадағы $\rho \omega_m$ массалы сұйықтық $g(\bar{J} - i)$ үдеуімен қозғалады. Бұл Ньютонның екінші заңын толық қанағаттандырады.

8.5-есеп.

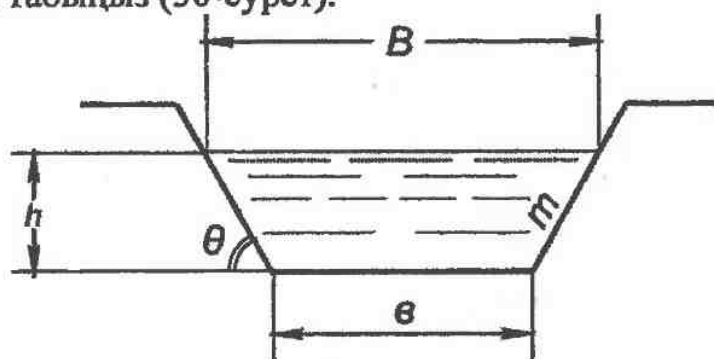
Шези коэффициентінің (C) өлшем бірлігі неге тең?

Шешімі:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}. \text{ Осы формуладан } C[L^{0.5}T^{-1}] \text{ немесе } [C] = \frac{M^{0.5}}{c}.$$

8.6-есеп.

Трапеция қималы каналдың ($b=3\text{м}$, $B=5\text{м}$, $h=1\text{м}$, $m=1$) сулану периметрін (χ), гидравликалық радиусын (R) және өтім қимасының ауданын (ω) табыңыз (50-сурет).



50-сурет

Шешімі:

$$\omega = (b + mh)h = (3 + 1 \cdot 1)1 = 4\text{м}^2;$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 3 + 2 \cdot 1 \sqrt{1 + 1^2} = 5,82\text{м};$$

$$R = \omega / \chi = 4 / 5,82 = 0,69\text{м}.$$

8.7-есеп.

Тік бұрышты қималы каналдың ($b=3\text{м}$; $h=0,5\text{м}$) гидравликалық элементтерін (ω , χ , R) табыңыз.

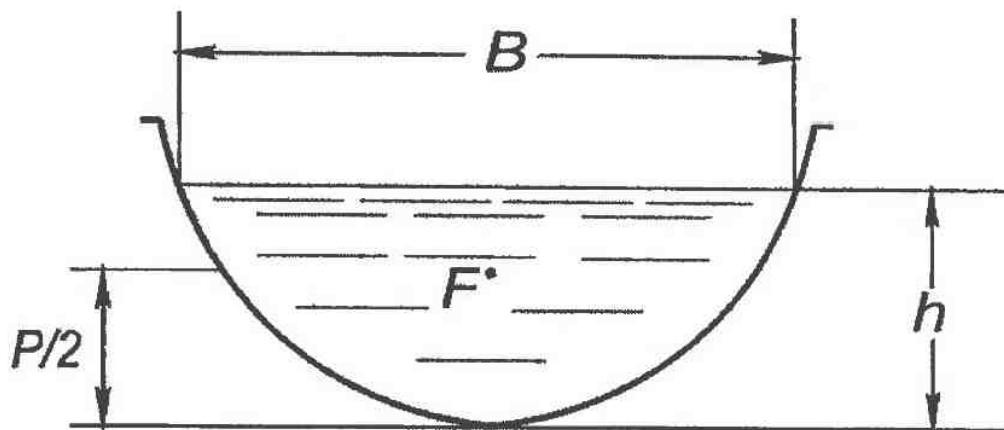
Жауабы:

$$\omega = 1,5\text{ м}^2; \chi = 4\text{м}; R = 0,37\text{ м}.$$

8.8-есеп.

Квадратты парабола қималы науаның ($P=0,2$; $h=0,6$ м) гидравликалық элементтерін табыңыз (51-сурет).

Ескерту: Төмендегі формулаларды пайдаланыңыз.



51-сурет

$$\omega = \frac{4}{3} \sqrt{(2P)} * h^{3/2};$$

$$\chi = P[\sqrt{2h}/P(1+2h/P) + b(\sqrt{hP} + \sqrt{(1+2h/P)})];$$

$$B = 2\sqrt{2Ph};$$

$$R = \omega/\chi.$$

8.9-есеп.

Гидротехникалық практикада топырақ арналы каналдың бұжырлық коэффициенті $n=0,0225$, тасынды диаметрі $d=0,25$ мм болған жағдайда, алмағайып, лайламайтын жылдамдық И.И.Леви формуласымен табылады

$$v_{ал.} = 0,5 \sqrt{R}, \text{ м/с};$$

R – гидравликалық радиус.

Егер тік бұрышты каналдың ені $b=3$ м, тереңдігі $h=1,5$ болса, алмағайып лайламайтын жылдамдық қандай болар еді?

Жауабы:

$$v_{ал.} = 0,72 \text{ м/с}.$$

8.10-есеп.

Болат құбырөткізгіштер үшін $\frac{E_0}{E} = 0,01$ (E_0 – сұйықтың серпімділік модулі; E – құбыр қабырғасы материалының серпімділік модулі) $d/\delta = 50$ (d – құбыр диаметрі; δ – құбыр қабырғасының қалыңдығы) деп гидравликалық соққы кезіндегі қысымның артуын табыңыз.

Шешімі:

$$\Delta P = \frac{1400 \rho v}{\sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E \delta}}}$$

немесе

$$\Delta P = \frac{1400 \rho v}{\sqrt{1 + 0,01 \cdot 50}} \approx 1000 \rho v.$$

8.11-есеп.

Егер құбырдағы судың жылдамдығы $v = 2$ м/с, тығыздығы $\rho = 10^3$ кг/м³, ал гидравликалық соққы толқынының жылдамдығы $c = 1000$ м/с болған жағдайда, гидравликалық соққы кезіндегі қысым қаншаға артар еді?

Жауабы: $\Delta P = 2 \cdot 10^6$ Па = $2 \cdot 10^3$ кПа = 2 МПа.

8.12-есеп.

Судың серпімділік модулі $E_0 = 19,6210^8$ Па, ал тығыздығы $\rho = 10^3$ кг/м³ екенін ескеріп судағы дыбыс жылдамдығын (гидравликалық соққы толқынының жылдамдығын) есептеп шығарыңыз.

Жауабы: $c = 1400$ м/с.

8.13-есеп.

Судың тығыздығы $\rho = 10^3$ кг/м³ судағы дыбыс жылдамдығы $c = 1400$ м/с болатынын ескеріп қысымның қанша өзгертетінін анықтаңыз.

Жауабы: $\Delta P = 1,4 \cdot 10^6 v$ Па.

8.14-есеп.

Гидравликалық соққы толқынының таралу жылдамдығы қандай болар еді, егер $\sqrt{E/\rho} \approx 1400 \text{ м/с}$; $\frac{E_0}{E} = 0,01$; $\frac{d}{\delta} = 100$ болған жағдайда?

Жауабы:

$$c = \frac{1400}{\sqrt{1 + 0,01 \cdot 100}} = \frac{1400}{\sqrt{2}}.$$

8.15-есеп.

Егер $\frac{E_0 d}{E \delta} \ll 1$ болса, онда гидравликалық соққының таралу жылдамдығы қандай болар еді?

Жауабы:

$$c \cong \sqrt{\frac{E_0}{\rho}}.$$

8.16-есеп.

Құбырөткізгіш ұзындығы $\ell = 2000 \text{ м}$; бастапқы арын $h_0 = 100 \text{ м}$, дыбыс жылдамдығына $a = 1000 \text{ м/с}$; задвижканы жабу уақыты $T_s = 2 \text{ с}$. Бастапқы жылдамдық $v_0 = 3 \text{ м/с}$. Қысым өсуінің ең үлкен шамасын табыңыз.

Жауабы:

$$\ell = 2000 > \frac{a T_s}{2} = \frac{1000 \cdot 2}{2} = 1000 \text{ м},$$

сондықтан тура гидравликалық соққы орын алады.

Соққы қысымының бастапқы қысымнан қанша есе көп екенін табу үшін мына формуланы пайдаланамыз

$$\Delta h = -\frac{a \Delta v}{g}$$

немесе

$$dh = -\frac{a}{g} dv.$$

Бұл теңдеуді интегралдасақ

$$\int_{h_0}^h dh = -\frac{a}{g} \int_{v_0}^v dv$$

немесе

$$h - h_0 = -\frac{a}{g}(v - v_0).$$

Соққы қысымы, соңғы жылдамдық $v = 0$ болған кезде, ең үлкен мәнге ие болды

$$h - h_0 = \Delta h = \frac{av_0}{g} = \frac{1000 \cdot 3}{g} \approx 300 \text{ м}$$

немесе

$$h = h_0 + \Delta h = 400 \text{ м}$$

Гидравликалық соққы әсерімен қысым өзінің бастапқы мәнінен 4 есе өседі.

8.17-есеп.

Трапециялық каналдың сипаттамалары: $m=1,5$; $n=0,02$; $i=0,0004$;

$$Q=50 \text{ м}^3/\text{с}; \beta_{г.у} = \frac{b}{h} = 2.$$

Каналдың түптік ені мен судың тереңдігін табыңыз.

Есепті шешу тәртібі:

- 1) каналдың салыстырмалы енін табады $\beta_{г.у} = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$;
- 2) су тереңдігінің бірнеше мәні (1м, 2м, 3м, 4м) үшін $b_i = \beta_{г.у} h_i$ есептеп канал өтімдерін табады;
- 3) $Q = f(h)$ графигін тұрғызады;
- 4) график бойынша ізделініп отырған су тереңдігін (h) анықтайды;
- 5) каналдың түптік енін табады, $b = \beta_{г.у} h$.

8.18-есеп.

Трапециялық каналдың өтім қимасының өлшемдері: $b=4\text{м}$; $h=2\text{м}$; $m=1$ және каналдың түптік еңістігі $i=0,0004$ мен бұжырлық коэффициенті $n=0,020$ берілген.

Каналдағы судың өтімін табыңыз.

Ескерту: Шези формуласын пайдаланыңыз.

8.19-есеп.

Трапециялық каналдың барлық бес сипаттамасы: $Q=60\text{м}^3/\text{с}$; $i=0,0004$; $b=15\text{м}$; $m=1,5$; $n=0,025$ берілген, каналдың толу тереңдігін (h) анықтаңыз.

Жауабы: $h=2,5\text{м}$.

Есепті шешу тәртібі:

1) h -қа әртүрлі мән ($h=1\text{м}$; 2; 3м; 4 м) беріп, әр тереңдікке сәйкес канал сипаттамалары ω , χ , R , C , Q есептелінеді; (кесте толтырылады);

2) кесте негізінде график $Q=f(h)$ тұрғызылады;

3) осы графиктен $Q=60\text{м}^3/\text{с}$ тиісті тереңдікті табады.

8.20-есеп.

Трапециялық каналдың барлық бес сипаттамасы: $Q=40\text{м}^3/\text{с}$; $i=0,0004$; $h=2,0\text{м}$; $m=1,5$, $n=0,025$ берілген, каналдың түптік енін анықтаңыз.

Есепті шешу тәртібі:

1) b -ға әртүрлі мән ($b=1\text{м}$; 2,0м; 3,0 м; 4,0 м; 5,0м) беріп, әр енге сәйкес канал сипаттамалары ω , χ , R , C және Q есептелінеді; (кесте толтырылады);

2) кесте негізінде график $Q=f(b)$ тұрғызылады;

3) осы графиктен $Q=40\text{м}^3/\text{с}$ тиісті түптік енді табады.

8.21-есеп.

Құбыр суға толғанда оның гидравликалық радиусы

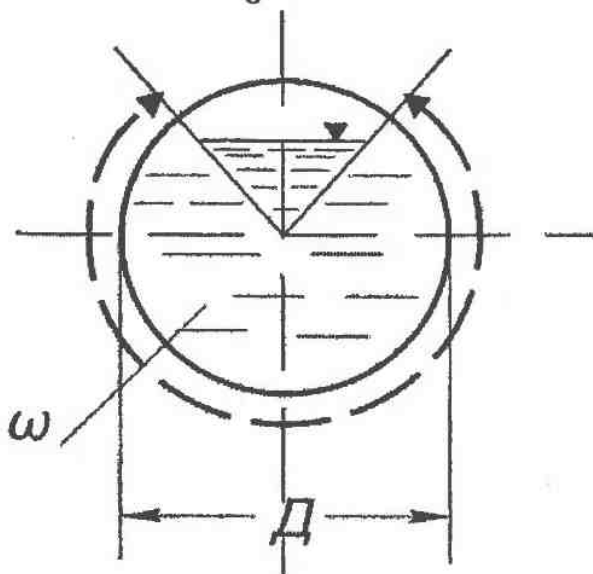
$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{D}{4},$$

ал тегінде,

$$R = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi} \right) D,$$

өйткені өтім қимасының ауданы

$$\omega = \frac{1}{8}(\varphi - \sin \varphi)D^2;$$



52-сурет

суланған периметрі

$$\chi = \frac{1}{2}\varphi D.$$

Егер құбырдың диаметрі $D=1,0$ м, (52-сурет), орталық бұрыш $\varphi = 240^\circ$ болған жағдайда гидравликалық радиус қандай болған болар еді?

Ескерту: орталық бұрышты радианмен алыңыз.

8.22-есеп.

Шези коэффициенті $C=100 \frac{m^{0,5}}{c}$, гидравликалық радиус $R=50$ м, гидравликалық еңістік $J=0,0002$ деп ағыстың жылдамдығын табыңыз.

Жауабы: $v = 10$ м/с.

8.23-есеп.

Құбырдың диаметрі $d=100$ мм болған жағдайда, гидравликалық радиус қанша болғаны?

Жауабы: $R=25$ мм.

8.24-есеп.

Егер жабық каналдың гидравликалық кедергі коэффициенті $\lambda = 0,008$ болса, Шези коэффициентінің шамасы қандай болғаны?

Жауабы: $C = 100 \frac{M^{0,5}}{c}$.

8.25-есеп.

Тікбұрышты арнадағы жетілген гидравликалық шапшыманың негізгі сипаттамаларын анықтаңыз, егер арнаның ені $b=1$ м, өтімі $Q=1\text{ м}^3/\text{с}$, шапшыма алдындағы су тереңдігі $h_1=0,2$ м болса.

Шешімі:

Алмағайып тереңдікті табамыз

$$h_{an} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 1^2}{9,81 \cdot 1^2}} = 0,48 \text{ м}$$

Фруд санын анықтаймыз

$$Fr_1 = \frac{h_{an}^3}{h_1^3} = \left(\frac{0,48}{0,2} \right)^3 = 13,82.$$

Фруд саны $Fr > 3$, сондықтан шапшыма жетілген деп саналады.

Екінші қосақы тереңдікті табамыз

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{an}}{h_1} \right)^3} - 1 \right) = \frac{0,2}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \cdot 13,82} - 1 \right) = 0,95 \text{ м.}$$

Гидравликалық шапшыма ұзындығын Н.Н. Павловский формуласымен анықтаймыз

$$l_{ш} = 2,5(1,9h_2 - h_1) = 2,5(1,9 \cdot 0,95 - 0,2) = 4,01 \text{ м.}$$

Шапшымадан кейінгі участок ұзындығын М.Д. Чертоусовтың ұсынысы бойынша

$$l_{\text{ш}} = (2,5 \dots 3,0) l_{\text{ш}} = (2,5 \dots 3) 4,01 = 10 \dots 12 \text{ м.}$$

9. Екі қосынды сұйықтар қозғалысы

9.1-жаттығу.

Араласу камерасы мен диффузордың геометриялық өлшемдерін және гидравликалық параметрлерін анықтағанда қандай жәйттерді есепке алу қажет?

Жауабы: 1) араласу камерасына кіре берістегі қиманың кез келген нүктесінде статикалық қысым бірдей екендігін;

2) араласу камерасының шыға беріс қимасындағы статикалық қысым жылдамдықтың логарифмдік пішініне сай екендігі;

3) диффузордың геометриялық өлшемі мен формасы статикалық қысымның ең жоғарғы мүмкін шамасын қамтамасыз етуі ескеріледі.

9.2-жаттығу.

Түзу ағысты көмілген ақпа несімен ерекшеленеді?

Жауабы: 1) ағын жылдамдығының көлденең құраушылары оның бойлық құраушыларымен салыстырғанда өте аз шама болғандықтан, оларды есепке алмаса да болады; ақпадағы қысым тұрақты, ол айналасындағы сұйық ортаның қысымына тең;

2) ақпаның ені саптаманың (соплонның) жиегінен бастап арақашықтық өскен сайын тура сызықты тәуелділікпен өседі.

9.3-жаттығу.

Көмілген бұралған ақпа қасиеттерін атаңыз?

Жауабы: 1) сұйықтың құйынды өрісінде төмен қысым орын алады, ақпа өсінде ең төмен мәнді болады да, ақпа шегінде айналасындағы сұйық орта қысымына жақындайды;

2) ақпаның кеңею бұрышы бұралу қарқынына тәуелді, кейде 100° дейін жетеді;

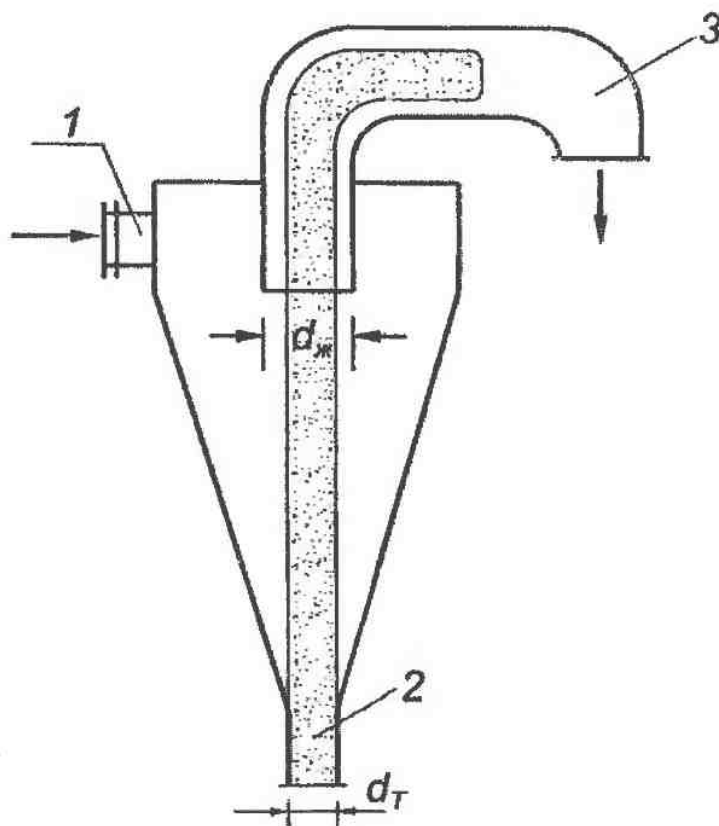
3) бұралған ақпа бойында және оның көлденең қималарында жылдамдық градиенті мен теріс қысым пайда болады;

4) өте қатты бұралған ағындардың өстік зонасында кері ағыс орын алады.

9.4- жаттығу.

Әдетте, 1-ші құбыршадан жанамалай кірген су 2-ші және 3-ші құбыршалардан ағуы тиіс (53-сурет), ал тәжірибе, $\left(\frac{d_{жс}}{d_m}\right) \cong 0,16$

(қысым $P_k > 100 \text{ кПа}$) болғанда, кері нәтиже көрсетеді: төменгі құбыршадан су мүлде ақпайды, бәрі жоғарғы 3-ші құбырдан ағады, Әбдіраманов эффектісі орын алады, себебін түсіндіріңіз.



53-сурет

Жауабы:

Гидроциклонның ішіндегі сұйық қатты айналғанда, оның ортасында пайда болған ауа дінгегінің диаметрі төменгі тесік диаметрінен анағұрлым үлкен болады. Осы ауа дінгегіне, төменгі тесік арқылы кіріп жатқан ауа жылдамдығы гидроциклонның жоғарғы тесігінен шығатын сұйық жылдамдығына тура пропорционал. Соның нәтижесінде гидроциклонның төменгі тесік айналасында (сырты мен ішінде) айтарлықтай қысым айырмасы туындап,

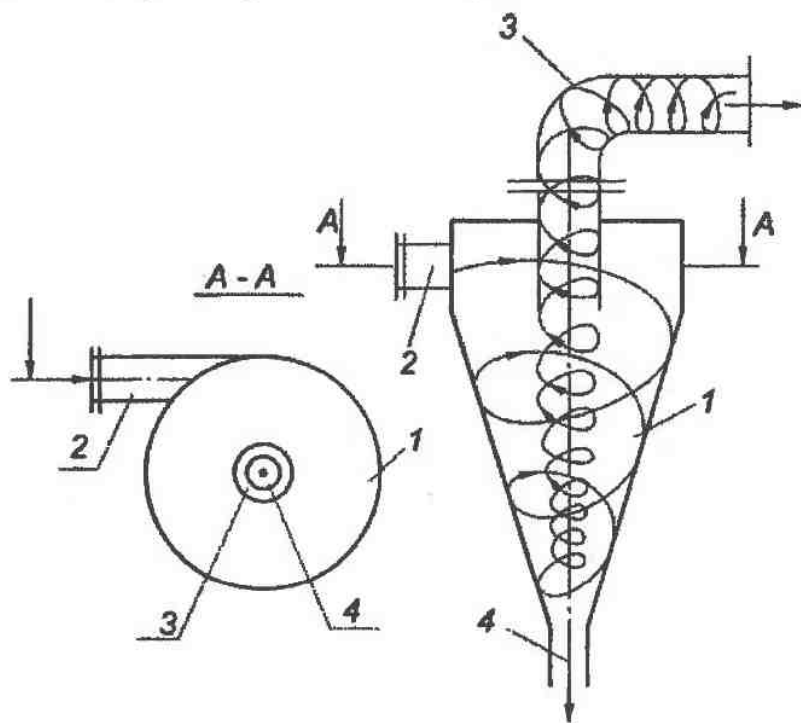
төменгі тесіктен кіретін ауаның кедергісі одан шығатын сұйықты толық тежей алады. Сондықтан ашық тесіктен су сыртқа шықпайды (төмен ақпайды). Яғни, гидравликалық тұйық - Әбдіраманов эффектісі орын алады.

9.5-жаттығу.

Гидроциклонға кіретін екі құрамды (су+күм) сұйық (54-сурет), қатты айналу әсерімен, екіге бөлініп тазаланған сұйық жоғарғы 3-ші құбыршадан, ал қатты түйіршіктер тасқыны (тасынды) төменгі 4-ші құбыршадан шығатыны белгілі. Гидроциклон ішінде орын алатын процесстер мен құбылыстарды пайдаланып, сапа түрінде талдаңыз.

Жауабы:

- 1) Сұйық, гидроциклон өсінен қатты айналу әсерімен корпус ішінде ортадан тепкіш өріс туғызады;
- 2) Гидроциклон өсі бойымен ауа бағанасы пайда болады;
- 3) Гидроциклон ішінде екі бұрандалы ағын орын алады: сыртқы, төмен бағытталған және ішкі, жоғары шығатын ағындар;
- 4) Бұл екі ағын арасындағы бетте өстік жылдамдық шамасы нөлге тең болады («Әбдіраманов беті»);



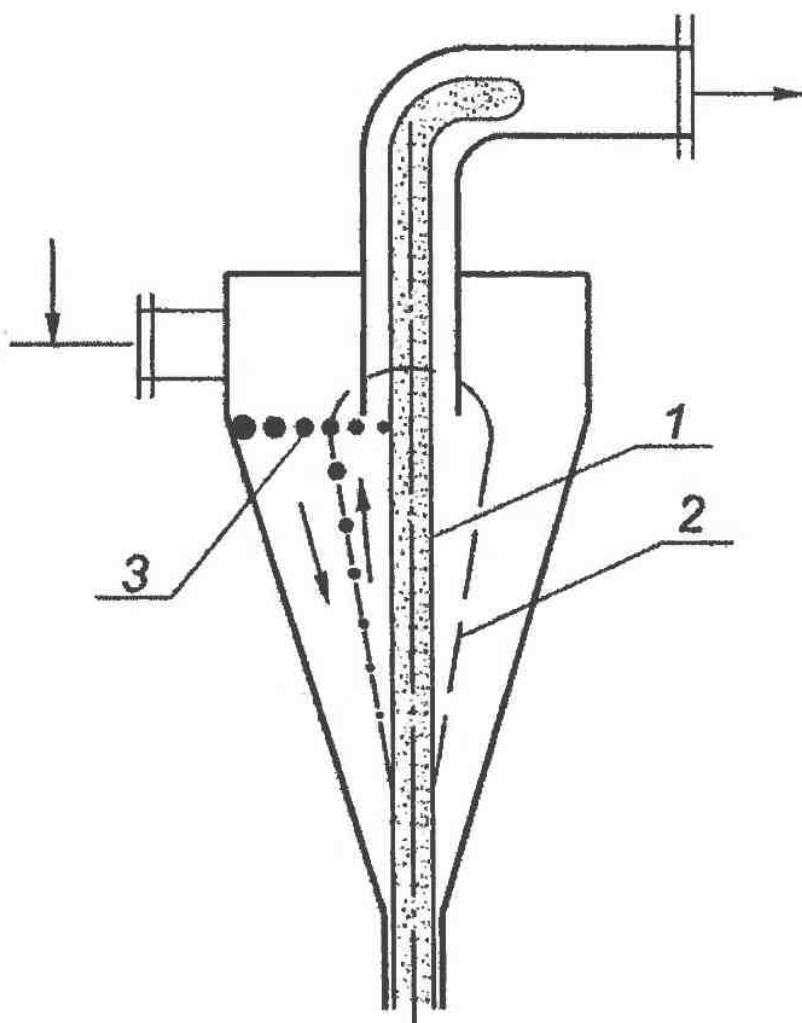
54-сурет

1-корпус; 2-кіру құбыршасы; 3- тазаланған сұйық шығатын құбырша; 4-қатты түйіршіктер түсетін құбырша.

5) «Әбдіраманов бетінің» сыртындағы өтім төмен қарай азаяды, ал ішіндегі өтім жоғары қарай көбейеді.

6) Гидроциклонға кірген қатты түйіршіктер, гидроциклонның радиусы бойында, диаметріне байланысты белгілі бір тәртіппен орналасады; ең кіші диаметрлі түйіршік, ауа мен сұйық шегінде орналасады дағы, радиус өскен сайын түйіршік диаметрі өседі.(55-сурет);

7) «Әбдіраманов бетіндегі» түйіршіктердің жартысы жоғары шығады, жартысы төмен түседі.

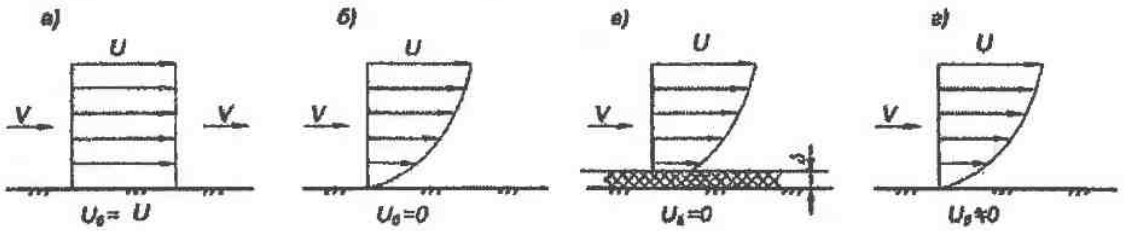


55-сурет

1-ауа бағанасы; 2-Әбдіраманов беті; 3-ортадан тепкіш өрістегі түйіршіктердің диаметрлеріне қарай орналасуы.

9.6 – жаттығу.

Қатты дене бетімен қозғалып бара жатқан сұйық арасындағы шекаралық жағдай модельдерін (56-сурет) кімдер ұсынған?



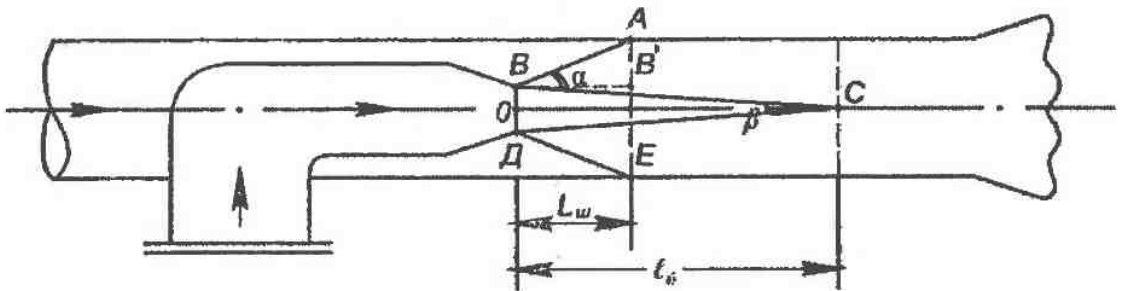
56-сурет

Жауабы:

- а) үйкеліссіз еркін сырғанау, оны Л. Эйлер 1757 ж. ұсынған;
- б) сырғанау жоқ, оны Кулон 1800 ж. ұсынған;
- в) δ қозғалмайтын қатпар, оны Прони 1804 ж., Жирар 1813 ж. ұсынған;
- г) сыртқы үйкелісті сырғанау, оны Навье 1823 ж. ұсынған.

9.1-есеп.

Ақпалы сорғының жұмыс сұйығы шығатын тесік диаметрі 20 мм (57 сурет), ал араласу камера диаметрі 40 мм. Егер ақпаның таралу бұрышы 14° болса, онда: 1) ақпаның шекаралық қабат ұзындығы қандай болар еді? 2) бастапқы учаске ұзындығы ше?



57-сурет

Шешімі:

- 1) Ақпалы сорғының шек аралық қабатының ұзындығы

$$L_w = \frac{d}{4} \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$L_w = \frac{0,04}{4} \cdot \operatorname{ctg} 14^\circ = 0,01 \cdot 4,01 = 0,04 \text{ м}$$

2) Бастапқы учаске ұзындығы

$$\ell_s = \frac{0,67}{a} r_0, \text{ (Г.Н. Абрамович)}$$

яғни

$$\ell_s = \frac{0,67}{0,075} \cdot 0,01 = 0,089 \text{ м.}$$

9.2-есеп.

Көмілген еркін ақпалардағы негізгі учаскеде жылдамдық профильдері бірте-бірте жайылып, шамалары жағынан кеми береді. Әр қимада жылдамдықтың ең үлкен мәні u_{\max} болады, ол өс бойында жатады. Осы u_{\max} өтпелі қимадан алыстаған сайын азая береді,

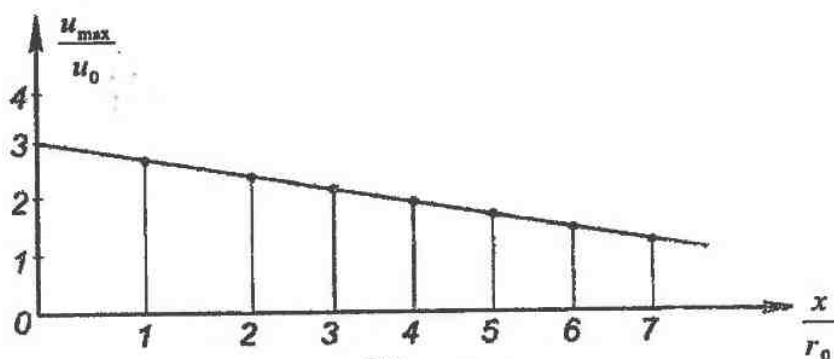
$$u_{\max} = u_0 \frac{0,96}{a \frac{x}{r_0} + 0,29}, \text{ (Г.Н. Абрамович)}$$

$$\frac{u_{\max}}{u_0} = f\left(\frac{x}{r_0}\right) \text{ графигін сызыңыз.}$$

Шешімі: u_{\max} -нің $\frac{x}{r_0}$ -ге байланысты өзгеруін кестеге түсіреміз

$\frac{x}{r_0}$	0	1	2	3	4	5	6	7
u_{\max}	$3,2 u_0$	$2,7 u_0$	$2,2 u_0$	$2 u_0$	$1,7 u_0$	$1,5 u_0$	$1,3 u_0$	$1,2 u_0$

Енді график сызамыз (58-сурет).



58-сурет

9.3-есеп.

Өстік цилиндрлі саптамалы (соплолы) бірбетті гидроэлеватордың арынды (жұмыс) ақпасының кеңею бұрышы, көмілген еркін ақпаның кеңею бұрышындай ($2\alpha = 26...30^\circ$) деп есептеп, гидроэлеватордың сора алатын өтімін (Q_c) табыңыз, егер араласу камерасы мен арынды сопло диаметрлерінің қатынасы ($d_{a.к.} / d_0$) екіге тең болса (59-сурет).

Шешімі: П. Мейердің зерттеу нәтижесі бойынша

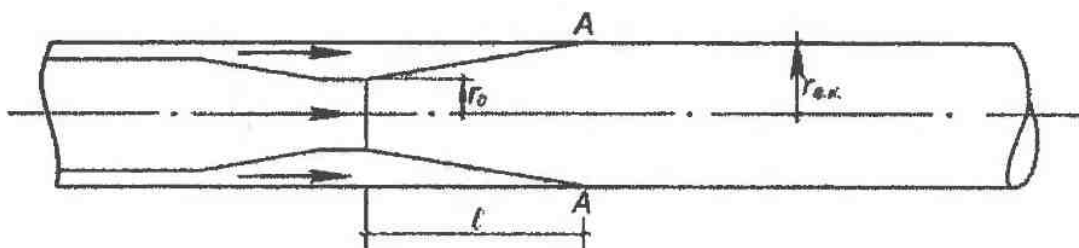
$$\frac{Q_c}{Q_{ж}} = 0,32 \frac{l}{d_0} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}}$$

Формуладағы: $Q_{ж}$ – арынды ақпаның өтімі;

$l - A - A$ - қимасының саптама тесігі жазықтығынан арақашықтығы;

d_0 - саптама тесігінің диаметрі;

ρ_0, ρ_1 - арынды ақпа мен сорылған сұйықтың тығыздықтары.



59-сурет

Егер $\rho_0 = \rho_1$ болса, онда

$$Q_c = 0,32 \frac{l}{d_0} Q_{ж}$$

Ұзындық $l = (r_{a.к.} - r_0) \operatorname{ctg} \alpha = r_0 \operatorname{ctg} 14^\circ = 4r_0 = 2d_0$.

Сондықтан эжекция коэффициенті

$$q = \frac{Q_c}{Q_{ж}} = 0,64$$

немесе

$$Q_c = 0,64Q_{ж}.$$

9.4-есеп.

Өстік цилиндрлі саптамалы (бірбетті) құйынды гидроэлеватордың арынды (жұмыс) ақпасының кеңею бұрышы $2\alpha = 40^\circ$, бұралу параметрі $n_p = 0,8$ деп есептеп гидроэлеватордың сора алатын өтімін табыңыз, егер араласу камерасының диаметрі арынды саптама (сопло) диаметрінен екі есе көп болса (алдыңғы есептегідей $\frac{d_{a.k.}}{d_0} = 2$).

Шешімі: Д.Н. Ляховский бұралған арынды ақпаның $0 \leq \frac{l}{d_0} \leq 5$

аралығында айналасындағы сукөзінен (ортадан) соратын су өтімін мына формуламен есептеуді ұсынады

$$\frac{Q_c}{Q_{ж}} = 0,5\theta + 0,207(1 + \theta) \frac{l}{d_0}$$

Бұл өрнектегі: θ - тиімді бұралу,

$$\theta = \frac{n_p / 2}{1 - n_p / 2},$$

n_p - бұралу параметрі, $n_p = g_{\varphi_{\max}} / g_{x_{\max}}$;

$g_{\varphi_{\max}}, g_{x_{\max}}$ - соплодан шыққан ақпа жылдамдығының тангенциалды және өстік құраушыларының ең көп шамалары.

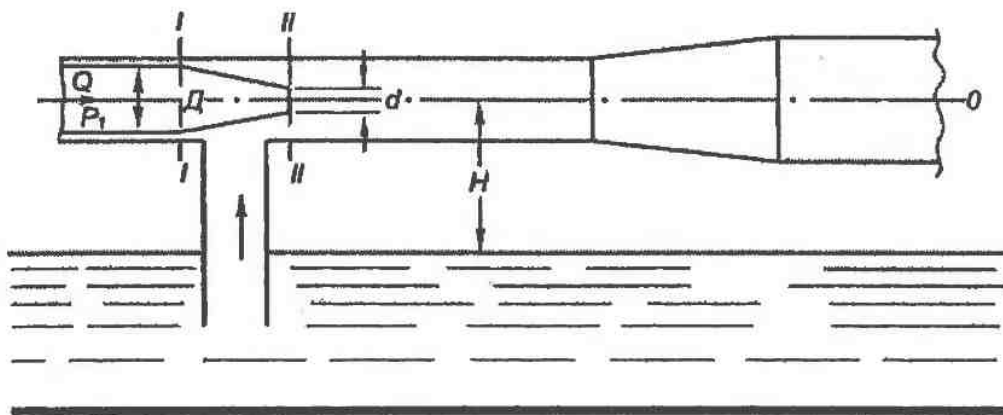
Есептің шарты бойынша $n_p = 0,8$; $\theta = 0,66$; $\frac{l}{d_0} = 1,38$, сондықтан

$$Q_c = 0,79Q_{ж}.$$

Бұралған арынды ақпаның сору қабілеті тура арынды ақпадағыдан (алдыңғы есептегіден) 25 пайызға көп.

9.5-есеп.

60-суретте көрсетілген параметрлер арқылы (Q , P - жұмыс сұйығының өтімі мен қысымы) ақпалы сораптың II-II қимасында болатын вакуумның шамасын табыңыз.



60-сурет

Шешімі:

I-II қималар үшін Бернулли теңдеуін жазамыз

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (1)$$

Вакуум тереңдігі

$$h_{\text{вак}} = \frac{P_a}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} \quad \text{немесе} \quad \frac{P_2}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g} - h_{\text{вак}}$$

$\frac{P_2}{\rho g}$ мәнін (1) – теңдеуге қойып вакуумнің шамасын табамыз

$$h_{\text{вак}} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{P_a}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} \quad (2)$$

Бұл өрнектегі:

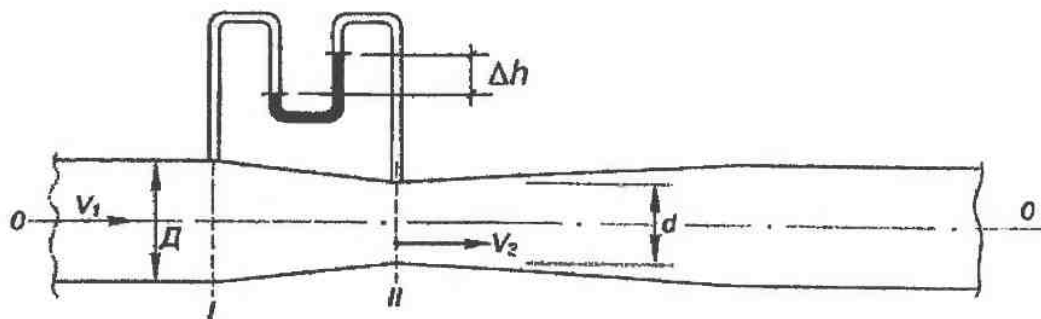
$$v_1 = \frac{Q}{\pi D^2 / 4}; \quad v_2 = \frac{Q}{\pi d^2 / 4}; \quad (3)$$

Q – белсенді сұйық өтімі мен жылдамдықтардың мәнін (2) – формулаға қойып былай жазуға болады

$$h_{\text{вак}} = \frac{16Q^2}{2\pi^2 g} \left(\frac{\alpha_2}{d^4} - \frac{\alpha_1}{D^4} \right) + \frac{P_a}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g}. \quad (4)$$

9.6-есеп.

Вентури су өлшеуішінің көрсеткіші арқылы судың өтімін табыңыз, егер $D=50\text{мм}$, $d=25\text{мм}$, $\Delta h=0,2\text{ м с.б.}$ болған жағдайда (61-сурет).



61-сурет

Шешімі:

I-II қималар үшін Бернулли теңдеуін жазамыз

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \quad (1)$$

егер $z_1 = z_2 = 0$; $Q = \omega_1 v_1 = \omega_2 v_2$; $\frac{\pi D^2}{4} = \omega_1$; $\frac{\pi d^2}{4} = \omega_2$; $v_2 = v_1 \frac{D^2}{d^2}$ екенін

ескерсек (1) теңдеуден

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \Delta h = v_1^2 \left(\frac{\alpha_2 D^4}{2gd^4} - \frac{\alpha_1}{2g} \right)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\alpha_2 \left(\frac{D}{d} \right)^4 - \alpha_1}} \quad (2)$$

Сондықтан өтім

$$Q = \mu \omega_1 \sqrt{\frac{1}{\alpha_2 \left(\frac{D}{d} \right)^4 - \alpha_1}} \sqrt{2g\Delta h} \quad (3)$$

Коэффициенттерді $\mu = 0,98$; $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1,1$ деп алып, өтімнің сан мәнін табамыз,

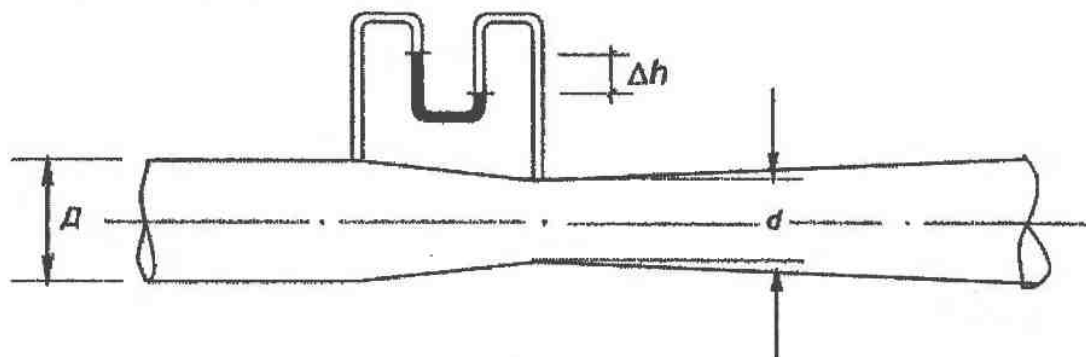
$$Q = 0,98 \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \sqrt{\frac{1}{1,1 \cdot 2^4 - 1,1}} \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,2} = 9,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} = 0,942 \text{ л/с}$$

9.7-есеп.

Вентури суөлшеуішінің диаметрлері $D = 200 \text{ мм}$; $d = 80 \text{ мм}$ (62-сурет).

Дифференциалды манометр сынаппен және сумен толтырылған. Манометр $\Delta h = 200$ мм көрсетсе, су өтімі қандай болады?

Жауабы: $Q=34,4$ л/с.



62-сурет

9.8-есеп.

Ақпалы сорапқа қысымы $P_1=2$ а, өтімі $Q=30$ л/с мөлшерінде су беріледі. Ақпалы сораптың өлшемдері төмендегідей: $D=100$ мм; $d=50$ мм. Су ақпалы сораптан атмосфераға ағып шығады. Осы сораппен $H=4,5$ м төменде жатқан суды көтеруге болама?

Жауабы: Көтере алмайды, өйткені $h_{\text{вак}} = 1,81$ м, тексеріп көріңіз.

9.9-есеп.

Біртекті тураағысты гидроэлеватордың орталық жұмыс соплосының диаметрі $d_0 = 10$ мм, бастапқы учаске ұзындығын табыңыз. Сызып көрсетіңіз.

Ескерту: А.Я. Миловичтің формуласы бойынша бастапқы учаске ұзындығы

$$\ell_{\sigma} = 6d_0.$$

9.10-есеп.

Гидроэлеватордың орталық жұмыс соплосының диаметрі $d_0 = 15$ мм, одан шығып жатқан ақпаның жылдамдығы $\mathcal{G}_0 = 14$ м/с,

соплодан $\frac{\ell}{d_0} = 10$ калибр арақашықтықтағы сұйықтың орташа жылдамдығы неге тең?

Шешімі: А.Я.Миловичтің зерттеу нәтижесі көрсеткендей $\frac{\ell}{d_0} = 10$ арақашықтықта сұйықтың орташа жылдамдығы

$$g = g_0 \frac{6d_0}{\ell}$$

немесе

$$g = 14 \cdot 0,6 = 8,4 \text{ м/с.}$$

9.11-есеп.

Өзен түбіндегі су жылдамдығы $g_0 = 1 \text{ м/с}$ жағдайында бұрыштық жылдамдығы $\omega = 2 \frac{1}{\text{с}}$ пен дөңгелеп ағып бара жатқан диаметрі 3 мм шар пішінді құмға әсер етуші Әбдіраманов күшінің шамасы мен бағытын табыңыз. Құмның тығыздығын $\rho = 2,65 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ деп алыңыз.

Шешімі: Әбдіраманов күшінің шамасы мен бағытын мына формуламен анықтайды

$$\vec{F}_{Ag} = \rho D S (\vec{g}_0 \times \vec{\omega}), \quad (1)$$

D - құмның диаметрі;

S - құмның Мидель қимасының ауданы.

Әбдіраманов формуласынан күштің шамасы

$$\vec{F}_{Ag} = \rho D S g_0 \omega \sin(\widehat{\vec{g}_0, \vec{\omega}}) \quad (2)$$

$$\sin(\widehat{\vec{g}_0, \vec{\omega}}) = 1, \text{ өйткені } g_0 \perp \omega,$$

сондықтан

$$F_{Ag} = \rho D S g_0 \omega \quad (3)$$

немесе

$$F_{Ag} = 2,65 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 9 \cdot 10^{-8} \cdot 2 = 1,43 \cdot 10^{-7} \text{ Н.}$$

Әбдіраманов күшінің бағыты (1) формула бойынша табылады: \vec{g}_0 және $\vec{\omega}$ векторларынан тұрғызылған жазық бетке \vec{F}_{Ag} перпендикуляр, оның бағыты, \vec{F}_{Ag} векторының ұшынан қарағанда,

жақша ішіндегі бірінші векторды (\vec{g}_0) екінші векторға $(\vec{\omega})$ бұру сағат тілінің жүру бағытына қарама-қарсы болғандағыдай.

9.12-есеп.

Науа түбіндегі су жылдамдығы $g_0 = 2\text{ м/с}$ жағдайында бұрыштық жылдамдығы $\omega = 1\frac{1}{\text{с}}$ пен диаметрі 4 мм, ұзындығы 2 см

цилиндр пішінді тасынды домалап ағып бара жатыр. Оған әсер етуші Архимед күшімен Әбдіраманов күшінің шамалары мен бағыттарын табыңыз.

Жауабы: $F_{Ar} = 0,0025\text{ Н}; F_{\Delta e} = 0,0017\text{ Н}.$

10. Грунт суларының қозғалысы

10.1-жаттығу.

Біртекгі изотропты грунттағы судың ламинарлық фильтрациясының өтімі Дарси формуласы арқылы есептеледі,

$$Q = k\omega I,$$

k – фильтрация коэффициенті, ол грунттың физикалық қасиеттеріне байланысты;

ω – ағынның өтім қимасының ауданы (фильтрдің көлденең қимасының ауданы);

I – гидравликалық еңістік (пьезометрлік еңістік).

Ал, өтім $Q = \omega g$, сонда фильтрация жылдамдығы (v) неге тең?

Жауабы:

$$g = kI.$$

10.2-жаттығу.

Дарси аспабын сызып, онымен грунттың фильтрация коэффициентін табудың жолын түсіндіріңіз.

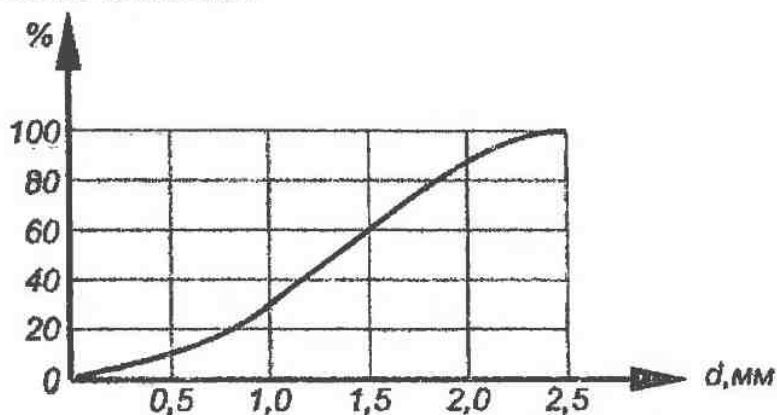
10.3-жаттығу.

Кестеге қарап грунттардың фильтрация коэффициенттерінің айырмашылығын сипаттаңыз.

Грунт аттары	Фильтрация коэффициенттерінің орташа шамасы, см/с
Саз	$(1...6) 10^{-6}$
Саздақ	$(1...6) 10^{-5}$
Құмдақ (тығыз)	$(1...6) 10^{-4}$
Құмдақ (борпылдақ)	$(1...6) 10^{-3}$
Майда құм	$(1...6) 10^{-3}$
Ірі құм	$(1...6) 10^{-2}$
Қиыршық тас	$(1...6) 10^{-1}$

10.4-жаттығу.

Грунттың механикалық құрамын гранулометрлік (түйіршіктік) қисықпен сипаттайды. 63-суретте көрсетілген гранулометрлік қисықты санмен жазыңыз.



63-сурет

10.5-жаттығу.

Жерүсті су ағынында толық үлесті энергия

$$H = z + h + \frac{\alpha v^2}{2g},$$

ал жерасты су фильтрациясында, $H = z + h$, себебін түсіндіріңіз.

10.1-есеп.

Дарси аспабын пайдаланып $t=81c$ уақыт ішінде грунттан фильтрацияланып (сүзіліп) өткен судың көлемі $W=400 \text{ см}^3$ екені белгілі болды. Екі қатар орналасқан пьезометрлердің көрсеткендері $H_1=59,2 \text{ см}$ және $H_2=44,1 \text{ см}$. Пьезометрлердің ара қашықтығы $\ell = 20 \text{ см}$, фильтрдің көлденең қимасының ауданы $\omega=283 \text{ см}^2$. Фильтрация коэффициентін табыңыз, ол қандай грунтқа сәйкес келеді?

Шешімі:

Фильтрация өтімі

$$Q = W/t = 400/81 = 4,94 \text{ см}^3/\text{с.}$$

Арын шығыны

$$h_w = H_1 - H_2 = 59,2 - 44,1 = 15,1 \text{ см.}$$

Гидравликалық еңістік

$$J = h_w / \ell = 15,1 / 20 = 0,755.$$

Енді фильтрация коэффициентін табайық

$$k = Q / \omega I = 4,94 / (283 * 0,755) = 0,023 \text{ см/с.}$$

Анықталған фильтрация коэффициенті ірі құмды грунтқа сәйкес келеді.

10.2-есеп.

Дарси аспабы ($\omega = 283 \text{ см}^2$, $\ell = 20 \text{ см}$) майда құммен толтырылған. Фильтрация коэффициенті $k = 3 * 10^{-3} \text{ см/с}$, су өтімі $Q = 1,91 \text{ см}^3/\text{с}$. Арын шығынын табыңыз.

Жауабы:

$$h_w = 0,45 \text{ м.}$$

10.3-есеп.

Грунт ағысының бірқалыпты қозғалысындағы жылдамдықты (v_0) және үлестік өтімді ($q = Q/b$) есептеңіз, егер су өткізбейтін қабаттың еңістігі $i = 0,015$ болса, майда құмды грунттың фильтрация коэффициенті $k = 4 * 10^{-3} \text{ см/с}$, бірқалыпты қозғалыс қабатының тереңдігі $h_0 = 4,0 \text{ м}$ болса. Өтім қимасындағы жергілікті жылдамдық неге тең?

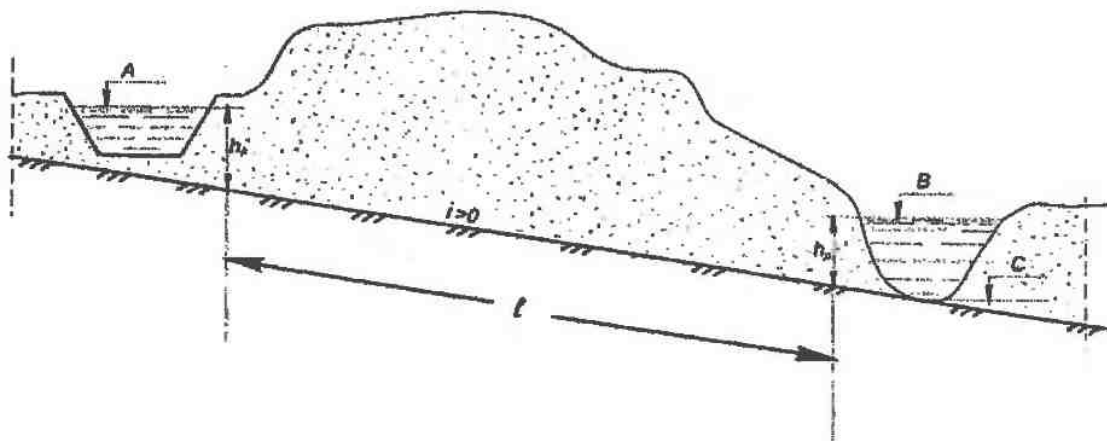
Жауабы:

$$v_0 = 6 * 10^{-5} \text{ см/с}; q = 0,024 \text{ см}^3/\text{с}; u = v_0.$$

10.4-есеп.

Жоғарыда орналасқан бас каналдан өзенге қарай су фильтрацияланады (64-сурет). Егер канал мен өзен аралығы $\ell = 510 \text{ м}$, су өткізбейтін қабаттың еңістігі $i = 0,008$, фильтрация коэффициенті $k = 0,005 \text{ см/с}$, каналдағы су бетінің биіктік белгісі $\downarrow A = 8,75 \text{ м}$, өзендегі су бетінің биіктік белгісі $\downarrow B = 5,2 \text{ м}$, су өткізбейтін қабаттың өзенге тірелетін жердегі биіктік белгісі $\downarrow C = 2,0 \text{ м}$ болса, онда осы жазықтықтағы:

- өзенге бағытталған фильтрациялық өтімді (q_1) табыңыз;
- депрессиялық қисықты тұрғызыңыз.



64-сурет

10.5-есеп.

Диаметрі $d=0,10$ мм түйіршіктің гидравликалық ірілігін табыңыз, егер оның меншікті салмағы $\gamma_1=2,65 \cdot 10^3$ кГ/м³ болса.

Ескерту. Су түйіршікті ламинарлық режимде ($Re_\omega \leq 1,0$) айналып өтеді деп Стокс формуласын,

$$W = (\gamma_1 - \gamma) / (24\mu) \cdot d^2, \text{ мм/с}$$

пайдаланыңыз.

10.6-есеп.

Трапеция қималы канал ($h=2$ м, $\theta = 45^\circ$, $b=4$ м) ұзындығы 1000м саздақ учаскеден өтеді. Фльтрациялық су шығынын Q табыңыз.

Ескерту: М.С. Визгоның формуласы бойынша,

$$Q = kL\chi,$$

k - фильтрация коэффициенті;

L - канал ұзындығы;

χ - суланған периметр.

11. Ұқсастық және өлшемдер теориясы.

Құбылыстар мен процестерді модельдеу

11.1-жаттығу.

Өлшемдер теориясында механикалық негізгі өлшемдер қатарына қандай өлшемдер жатады?

Жауабы: масса $[m]=[кг]$, ұзындық $[L]=[м]$, уақыт $[T]=[с]$.

11.2-жаттығу.

Есептер шығарғанда негізгі өлшемдер саны өнебойы үшеу болама, жоқ екеу немесе біреу болуы да мүмкін бе?

Жауабы: Әбден мүмкін.

11.3-жаттығу.

Негізгі үш өлшемді де пайдаланатын бес туынды өлшемдермен өлшенетін параметрлер өзара байланысты делік, сонда өлшемсіз комбинациялар саны (Π_i) қанша болуы керек?

Жауабы: Пи теоремасы бойынша $n-k=5-3=2$, яғни

$$\varphi(a_1, a_2, a_3, \dots, a_5) = 0,$$

$$a_1 = f(a_2, a_3, \dots, a_5)$$

немесе

$$a_1 = f_1(\Pi_1, \Pi_2).$$

Бұл тәуелділіктегі

$$\Pi_1 = \frac{a_1}{a_2^{x_1} a_3^{x_2} \dots a_5^{x_5}};$$

$$\Pi_2 = \frac{a_1}{a_2^{y_1} a_3^{y_2} \dots a_5^{y_5}}.$$

11.4-жаттығу.

Егер Рейнольдс белгісі болмыс пен модельдегі құбырларда бірдей болса, онда автоматты түрде Эйлер саны да екі жүйеде бірдей болады, неге?

Жауабы: Ньютон белгісіндегі күштің орнына үйкеліс күшін қойсақ, онда

$$\frac{F}{\rho l^2 v^2} = \frac{\tau_0 \omega}{\rho l^2 v^2} = \frac{\tau_0 l^2}{\rho l^2 v^2} = \frac{\rho \frac{\lambda}{8} v^2}{\rho v^2} = \frac{\lambda}{8}.$$

Сондықтан $\lambda_b = \lambda_m$.

Ал енді Эйлер саны бойынша

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho v^2}.$$

Бұл жердегі

$$\Delta P = \rho g h_w = \rho g \lambda \frac{l v^2}{d 2g} = \rho \lambda \frac{l v^2}{d 2}.$$

Сондықтан

$$Eu = \lambda \frac{l}{2d}$$

немесе

$$\lambda_m \frac{l_m}{d_m} = \lambda_b \frac{l_b}{d_b}.$$

Геометриялық ұқсастық сақталғандықтан

$$\lambda_m = \lambda_b.$$

Жоғарыда келтірілген жағдайда $(Re)_m = (Re)_b$.

Егер құбырлардың болмыстағы және модельдегі гидравликалық үйкеліс коэффициенттері өзара тең болса, онда құбырлардағы сұйық қозғалыстары гидродинамикалық ұқсас болғаны.

11.5-жаттығу.

Гидродинамикалық ұқсас жүйелерде Шези коэффициентінің болмыстағы және модельдегі мәндері бірдей болуы шарт ($C_b = C_m$). Дәлел келтіріңіз.

Жауабы: Кедергінің квадраттық облысындағы арынсыз қозғалыс үшін Шези формуласына сәйкес:
болмыста

$$v_b = C_b \sqrt{R_b I_b}; \quad (1)$$

модельде

$$v_m = C_m \sqrt{R_m I_m}. \quad (2)$$

Геометриялық ұқсас жүйелер үшін $I_b = I_m$, сондықтан

$$\frac{v_b}{v_m} = \frac{C_b}{C_m} \sqrt{\frac{R_b}{R_m}} = \frac{C_b}{C_m} \sqrt{\lambda_e}. \quad (3)$$

Кедергінің квадраттық облысында әрқашан

$$\frac{v_b}{v_m} = \sqrt{\lambda_e},$$

өйткені Фруд саны сақталғанда

$$\frac{v_b^2}{g l_b} = \frac{v_m^2}{g l_m};$$

$$\frac{v_6}{v_m} = \sqrt{\frac{l_6}{l_m}} = \sqrt{\lambda_e}.$$

Сондықтан (3) - өрнектен $C_6 = C_m$.

11.6-жаттығу.

Гидродинамикалық ұқсас жүйелерде: а) гидравликалық үйкеліс коэффициенттері тең,

$$\lambda_6 = \lambda_m;$$

б) бойлық кедергі коэффициенттері өзара тең,

$$\xi_6 = \xi_m,$$

дәлелдеңіз.

Жауабы: Гидравликалық үйкеліс коэффициенті Шези коэффициентімен байланысты

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}.$$

Болмыста

$$\lambda_6 = \frac{8g}{C_6^2}.$$

Модельде

$$\lambda_m = \frac{8g}{C_m^2}.$$

Жоғарыдағы жаттығуда $C_6 = C_m$ екені дәлелденген, сондықтан

$$\lambda_6 = \lambda_m.$$

Бойлық кедергі коэффициенті

$$\xi_e = \lambda \frac{l}{d}.$$

Болмыс үшін

$$\xi_6 = \lambda_6 \frac{l_6}{d_6} = \lambda_6. \quad (1)$$

Модель үшін

$$\xi_m = \lambda_m \frac{l_m}{d_m} = \lambda_m. \quad (2)$$

(1) және (2) өрнектердің оң жақтары тең болғандықтан, сол жақтары да өзара тең,

$$\xi_6 = \xi_m.$$

11.7-жаттығу.

Гидравликалық процесті Рейнольдс белгісі арқылы модельдегенде болмыс пен модельдегі жылдамдық және өтім қатынастары (масштабтары) қандай болуы керек?

Жауабы: Рейнольдс сандары болмыс пен модельде тең болғандықтан,

$$\frac{v_6 \ell_6}{\nu_6} = \frac{v_m \ell_m}{\nu_m},$$

зертханада пайдаланатын сұйық табиғаттағыдай деп есептеп ($\nu_6 = \nu_m$) жылдамдық масштабын табады

$$\lambda_v = \frac{v_6}{v_m} = \frac{\ell_m}{\ell_6} = \frac{1}{\lambda_e}.$$

Өтім масштабы:

$$\lambda_Q = \frac{Q_6}{Q_m} = \frac{v_6 \omega_6}{v_m \omega_m} = \frac{1}{\lambda_e} \lambda_e^2 = \lambda_e.$$

11.8-жаттығу.

Модельдеу теориясында гидравликалық құбылыс (процесс) басым бір ғана күштің әсерімен болады деп қарастырады, оның себебі неде?

Жауабы: Себебі, екі немесе үш күштің әсерімен болатын құбылыстар мен процестердің динамикалық ұқсастық белгілерін қанағаттандыру үшін модельдегі сұйық құрамын еселелінген тұтқырлық коэффициентіне сай қоспа ретінде алудың қиындығында. Мысалы, Фруд белгісі арқылы болмыстан модельге өткендегі жылдамдықтың өзгеруі $\lambda_v = \lambda_e^{0.5}$ есе болса, Рейнольдс белгісі арқылы модельдегенде $\lambda_v = \lambda_e^{-1}$ есе болады. Ал бұл екі жағдайда да жылдамдық өзгерісі бірдей болу үшін модельдегі сұйықтың тұтқырлық коэффициенті, болмыстағы сұйықтың тұтқырлық коэффициентінен анағұрлым бөлек болуы керек. Ондай сұйық қоспа жасап, оны пайдалану өте қиын. Сондықтан, әдетте, құбылысты модельдеу үшін барлығынан басым бір күштің әсерін назарға алады.

11.9-жаттығу.

Ортадан тепкіш сорғыны моделдегенде геометриялық ұқсастықты қалай қамтамасыз етеді?

Жауабы: болмыстағы және модельдегі сорғылардың жұмыс доңғалақтарының диаметрлері мен биіктіктерінің қатынастары бірдей болуы керек

$$\lambda_e = \frac{D_6}{D_m} = \frac{b_6}{b_m} = const.$$

Аудандарды салыстырғанда, осы өлшемдердің квадраттарының қатынастарын алады

$$\lambda_w = \frac{\omega_6}{\omega_m} = \left(\frac{D_6}{D_m}\right)^2 = \left(\frac{b_6}{b_m}\right)^2 = const.$$

Геометриялық ұқсастық беттердің бұжырлығы мен саңлаулардың ұқсастығын да қамтиды.

11.10-жаттығу.

Ортадан тепкіш сорғыларды моделдегенде кинематикалық ұқсастықты қалай қамтамасыз етеді?

Жауабы: Қарастырылып отырған ағындардағы өлшемсіз жылдамдықтар өрісі бірдей болуы керек, яғни қозғалыстағы сәйкес сұйық бөлшектері жылдамдықтарының қатынастары өзара тең, ал траекториялары геометриялық ұқсас болуы шарт. Сорғыларға байланысты бұл тұжырым мынаны меңзейді. Геометриялық ұқсас машиналардың барлық ағын нүктелерінде жылдамдық параллелограммаларының ұқсастығы қамтамасыз етілуі қажет

$$\frac{g_6}{g_m} = \frac{\omega_6}{\omega_m} = \frac{u_6}{u_m} = \dots = \frac{n_6 D_6}{n_m D_m} = const$$

және сұйық ағысы жылдамдығының, доңғалақтың айналу жылдамдығына қатынасы, болмыс пен модельде бірдей болуы керек

$$\frac{g_6}{u_6} = \frac{g_m}{u_m} = const.$$

Сонымен геометриялық ұқсастықты:

$$g \sim \frac{Q}{D^2} \text{ және } u \sim nD$$

пайдаланып, тағы бір кинематикалық ұқсастық шартын табамыз,

$$\frac{Q_6}{n_6 D_6^3} = \frac{Q_m}{n_m D_m^3} = const.$$

11.11-жаттығу.

Ортадан тепкіш сорғыларды модельдегенде динамикалық ұқсастықты қалай қамтамасыз етеді?

Жауабы: Сорғының жұмыс доңғалағындағы ағын үшін Эйлер белгісінің басымдылығы белгілі

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho g^2} = \frac{\rho g \Delta H}{\rho g^2} = \frac{g \Delta H}{g^2}$$

Жоғарыдағы жаттығуда келтірілген, $g^2 = \frac{Q^2}{D^4}$, екенін ескерсек, онда

$$Eu = \frac{g \Delta H D^4}{Q^2}.$$

Сондықтан динамикалық ұқсастық шарты былай жазылар еді

$$\frac{Q_б}{D_б^2 \sqrt{H_б}} = \frac{Q_м}{D_м^2 \sqrt{H_м}}$$

немесе

$$\frac{Q_б}{Q_м} = \left(\frac{D_б}{D_м} \right)^2 \sqrt{\frac{H_б}{H_м}}$$

11.12-жаттығу.

Автомодельдік облыста жұмыс істейтін болмыстағы және модельдегі ортадан тепкіш сорғылардың энергиялық параметрлерінің (Q, H, N) қатынастарын табыңыз.

Жауабы: Автомодельдік облыстағы жылдамдықтар үшбұрышының ұқсастығы $(C_{2r}/U_2)_б = (C_{2r}/U_2)_м$, екі ұқсас сорғылардың гидравликалық пайдалы әсер коэффициенттері бірдей ($\eta_{г.б.} = \eta_{г.м.}$) деген сөз, сондықтан

$$\frac{(C_{2r})_б}{(C_{2r})_м} = \frac{U_{2б}}{U_{2м}} = \frac{n_б D_б}{n_м D_м}.$$

Сорғының өтімі жылдамдық пен ауданның көбейтіндісіне тең ($Q = U\omega$), сол себепті (11.10-жаттығуды қараңыз)

$$\frac{Q_{\delta}}{Q_{\mathcal{M}}} = \frac{n_{\delta}}{n_{\mathcal{M}}} \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\mathcal{M}}} \right)^3.$$

Сорғыдан шығатын сұйықтың арыны, $H \sim u^2$, сондықтан

$$\frac{H_{\delta}}{H_{\mathcal{M}}} = \left(\frac{U_{2\delta}}{U_{2\mathcal{M}}} \right)^2 = \left(\frac{n_{\delta}}{n_{\mathcal{M}}} \right)^2 \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\mathcal{M}}} \right)^2$$

немесе

$$\frac{P_{\delta}}{P_{\mathcal{M}}} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_{\mathcal{M}}} \left(\frac{n_{\delta}}{n_{\mathcal{M}}} \right)^2 \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\mathcal{M}}} \right)^2.$$

Сорғының қуаты $N = \rho g Q H$, яғни

$$\frac{N_{\delta}}{N_{\mathcal{M}}} = \left(\frac{n_{\delta}}{n_{\mathcal{M}}} \right)^3 \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\mathcal{M}}} \right)^5.$$

немесе

$$\frac{N_{\delta}}{N_{\mathcal{M}}} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_{\mathcal{M}}} \left(\frac{n_{\delta}}{n_{\mathcal{M}}} \right)^3 \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\mathcal{M}}} \right)^5.$$

11.13-жаттығу.

Суағардағы ағысты зерттеу керек. Қандай гидравликалық параметрлер өзара тығыз байланысты. Пи - теореманы және өлшемдер теориясын пайдаланып осы байланысты анықтаңыз.

Жауабы: Суағардан өтетін өтім Q арын H шамасына, суағар еніне b , сұйық тығыздығына ρ , еркін түсу үдеуіне g тәуелді.

$$Q = f(b, \rho, g, H)$$

немесе

$$\varphi(Q, b, \rho, g, H) = 0. \quad (1)$$

Бұл жерде бес физикалық шамалар өзара байланысты.

Пи – теореманы пайдаланамыз. (1) теңдеудегі тәуелсіз өлшемдер саны үшеу: $[L]$, $[T]$ және $[M]$ немесе $k=3$. Ал физикалық шамалар саны, $n=5$. Өлшемсіз комбинациялар саны, $n-k=5-3=2$

$$\varphi[\Pi_1, \Pi_2] = 0. \quad (2)$$

Енді өлшемдер теориясын пайдаланып өлшемсіз комбинациялар (Π_i -дың) мандерін табамыз:

$$\Pi_1 = Q^{x_1} b^{x_2} \rho^{x_3} g;$$

$$\Pi_2 = Q^{y_1} b^{y_2} \rho^{y_3} H.$$

$$[Q]=L^3T^{-1}; [b]=L; [\rho]=ML^{-3}; [g]=LT^{-2}.$$

Сонымен Π_1 комбинациясы үшін

$$\Pi_1 = (L^3T^{-1})^{x_1} L^{x_2} (ML^{-3})^{x_3} LT^{-2}$$

немесе

$$\Pi_1 = [Q]^{x_1} [b]^{x_2} [\rho]^{x_3} [g]. \quad (3)$$

Π_1 шамасы өлшемсіз болуы үшін әр өлшемнің дәреже көрсеткіштерінің қосындысы нөлге тең болуы шарт.

Ұзындық, уақыт және масса бірліктері үшін теңдеулер құрамыз:

$$\left. \begin{array}{l} [L] \text{ үшін} \\ [T] \text{ үшін} \\ [M] \text{ үшін} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 3x_1 + x_2 - 3x_3 + 1 = 0; \\ -x_1 - 2 = 0; \\ x_3 = 0. \end{array}$$

Үш белгісізі бар үш теңдеу алдық. Бұл теңдеулерден

$$X_3=0; X_1=-2; X_2=5.$$

Сондықтан (3)-теңдеуден

$$\Pi_1 = Q^{-2} b^5 \rho^0 g = \frac{b^5 g}{Q^2}. \quad (5)$$

Осыған сәйкес екінші өлшемсіз комбинацияны табамыз ($y_1=0$; $y_2=-1$; $y_3=0$)

$$\Pi_2 = Q^{y_1} b^{y_2} \rho^{y_3} H = \frac{H}{v}. \quad (6)$$

Сонымен (2) теңдеу

$$\varphi(\Pi_1, \Pi_2) = \varphi\left(\frac{b^5 g}{Q^2}, \frac{H}{b}\right) = 0. \quad (7)$$

Бұл теңдеудегі

$$\frac{b^5 g}{Q^2} = \frac{b^5 g}{g^2 \omega^2} = \frac{b^5 g}{g^2 b^2 H^2} = \frac{b^3 g}{g^2 H^2} = \frac{g b b^2}{g^2 H^2} = \frac{1}{Fr} \frac{b^2}{H^2}.$$

(7) теңдеуді былай өзгертіп жазуға да болады

$$\varphi(\Pi_1^*, \Pi_2) = \varphi\left(Fr, \frac{H}{b}\right). \quad (8)$$

Суағардағы ағында үлесті су арыны (H/b) Фруд санымен (белгісімен) байланысты, $\frac{H}{b} = f(Fr)$.

11.1-есеп.

Ұзындық масштабы $\lambda_l = 10$ болған жағдайда, құбылысты Фруд белгісі арқылы модельдесек, жылдамдық, өтім, уақыт масштабтары қандай болар еді?

11.2-есеп.

Ұзындық масштабы $\lambda_e = 10$ болған жағдайда, құбылысты Рейнольдс белгісі арқылы моделдесек, жылдамдық пен өтім масштабтары қандай болар еді?

11.3-есеп.

Ұзын құбырөткізгіштегі арын шығыны құбырдың ұзындығына (ℓ), оның диаметріне (d), еркін түсу үдеуіне (g), ағын жылдамдығына (ν) тәуелді

$$h_w = f(\ell, d, g, \nu) = f\left(\frac{\ell}{d}, g, \nu\right) = f(\Pi, g, \nu) \quad (1)$$

немесе

$$\varphi(h_w, \ell, d, g, \nu) = 0.$$

Пи – теорема мен өлшемдер теориясын пайдаланып арын шығынын анықтайтын өрнекті табыңыз.

Шешімі:

(1) – тәуелділіктегі өлшемді шамалардың бірлігін анықтайық: $[h_w] = m$, $[\ell] = m$; $[d] = m$; $[g] = m/c^2$; $[g] = m/c$, яғни өлшемдері екеу: $[L]$ және $[T]$ немесе $k=2$.

Ал тәуелсіз өлшемді шамалар саны, $n=3$ (ℓ , g , g). Бұданшықты өлшемсіз комбинация саны бірге тең ($n-k=1$).

Өлшемдер теориясы бойынша,

$$\Pi = \frac{h_w}{g^{x_1} v^{x_2}} \text{ немесе } h_w = \Pi g^{x_1} v^{x_2}; \quad (2)$$

$$[h_w] = L; [g] = \frac{L}{T^2}; [v] = \frac{L}{T};$$

$$[L] = \Pi [LT^{-2}]^{x_1} [LT^{-1}]^{x_2} .$$

$$[L] \text{ үшін } 1 = x_1 + x_2;$$

$$[T] \text{ үшін } 0 = -2x_1 - x_2,$$

немесе $x_2 = -2x_1$. Бұны бірінші теңдеуге қойып x_1 -ді табамыз: $1 = x_1 - 2x_1$, яғни $x_1 = -1$, ал $x_2 = 2$.

Сондықтан (2)-теңдеуден

$$h_w = A \Pi \frac{g^2}{g} = A \frac{\ell g^2}{d g} = \lambda \frac{\ell g^2}{d 2g}. \quad (3)$$

Кoeffициент $A = \lambda / 2$ екені көрініп тұр.

Бұл Вейсбах-Дарсидың формуласы ғой.

11.4-есеп.

Өлшемдер теориясын және Пи-теореманы пайдаланып жұқа қабырғалы суағардан өтетін өтімнің формуласын анықтаңыз.

Ескерту: Өзара байланысты, туынды өлшемді шамалар ретінде: өтімді Q , қабырға енін b , арын тереңдігін H_0 және еркін түсу үдеуін g деп алып

$$Q = f(b, H_0, g)$$

немесе

$$q = f_1(H_0, g),$$

q – үлесті өтім, $q = Q/b$ екенін ескеріп

$$q = cH_0^{x_1} g^{x_2}$$

түрінде жазып алыңыз.

Осы теңдеуден туынды өлшемді шамалар $n=3$ екенін, ал негізгі өлшемді шамалар екеу екенін ($k=2$) көресіз. Сонда өлшемсіз комбинацияның саны (Π_i) біреу ғана болады ($n - k=1$).

Жауабы: $Q = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2}$

(m - өтім коэффициенті).

11.5-есеп.

Практикалық пішінді суағар түрінде жобаланған сутастағыш құрылым тесігінің ені $b_6 = 20$ м, өтімі $Q=100$ м³/с. Осы құрылымды 70 есе кішірейтілген модельде зерттеуге бола ма, жоқ болмай ма, болмаса оның модельдегі өтімі мен суағар тесігінің енін анықтаңыз.

Шешімі: Ағынның тұрбуленттігін қамтамасыз ету үшін $(Re)_6 = (Re)_m$, және оның ауырлық күші әсерінен екенін ескеріп, $(Fr)_6 = (Fr)_m$ талаптарын орындаймыз.

Модельдің сызықты масштабын мына формуламен табамыз,

$$\lambda_l = \left[\frac{(Re)_6}{(Re)_m} \right]^{2/3} = \left[\frac{Q_6}{b_6 v_6 (Re)_m} \right]^{2/3}.$$

Өйткені модельдегі ағын, болмыстағы ағын сияқты кедергінің квадраттық облысында жатуы керек, $(Re)_6 \geq (Re)_m \cong 10^4$

$$\frac{(Re)_6}{(Re)_m} = \frac{g_6 H_6}{g_m H_m} = \lambda_l^{0,5} \lambda_l = \lambda_l^{3/2}$$

немесе

$$\lambda_l = \left(\frac{100}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-4}} \right)^{2/3} = 63.$$

Бұданшықты, сутастағышты 70 есе кішірейтуге болмайды. Модельдің сызықтық масштабын 63 деп қабылдаймыз.

Модель өтімін $(Fr)_6 = (Fr)_m$, талабы бойынша табамыз

$$\frac{Q_6}{Q_m} = \frac{\omega_6 g_6}{\omega_m g_m} = \lambda_l^2 \lambda_l^{0,5} = \lambda_l^{2,5}$$

немесе

$$Q_m = \frac{Q_6}{\lambda_t^{2,5}} = \frac{100}{63^{2,5}} = 3,2 \text{ л/с.}$$

Модельдегі суағар тесігінің ені

$$b_m = \frac{b_6}{\lambda_e} = \frac{20}{63} = 0,317 \text{ м.}$$

11.6-есеп.

Ағын арнасына орналастырылған тосқауыл ағынды бөгеп су тереңдігін көбейтеді. Тосқауылдың үстінен ағып түсетін су өтімі (Q) бастапқы өтім шамасына тең болғандықтан су қандай биіктікке көтерілуі керек?

Шешімі:

Суағарлардың өтім формуласы бойынша

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

немесе тосқауыл үстінен ағып өтетін судың тегеуріні

$$H = \sqrt[3]{\frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{m_0 b} \right)^2}.$$

11.7-есеп.

Жоғарғы есептегі өтім $Q=10 \text{ м}^3/\text{с}$, тосқауылдың (арнаның) ені $b=5 \text{ м}$ судың тегеурінін табыңыз.

Ескерту: Өтім коэффициенті $m_0=0,45$ деп алыңыз.

ТІРКЕМЕЛЕР

Кесте 1. Тамшылайтын сұйықтардың тығыздығы ($t=20^{\circ}\text{C}$)

Сұйықтық	Тығыздығы, ρ , кг/м ³
Тұщы су	998,2
Теңіз суы	1002-1029
Глицерин	1250
Керосин	792-840
Минералды май	877-892
Мұнай	850-950
Сынап	13547
Спирт	789,3
Бензин	739-751

Кесте 2. Газдардың тығыздығы ($P=9,7 \cdot 10^4$ Па, $t=15^{\circ}\text{C}$)

Газ түрлері	Тығыздығы, ρ , кг/м ³
Сутегі	0,08
Су буы	0,74
Азот	1,15
Ауа	1,20
Оттегі	1,30
Көміртегі	1,80

Кесте 3. Тамшылайтын сұйықтардың кинематикалық және динамикалық тұтқырлықтары

Сұйықтық	$\nu \cdot 10^4$, м ² /с	μ , Па*С
Тұщы су ($t=20^{\circ}\text{C}$)	0,0101	0,001
Глицерин ($t=20^{\circ}\text{C}$)	4,1	0,512
Керосин ($t=15^{\circ}\text{C}$)	0,02-0,03	0,0016-0,0025
Бензин ($t=15^{\circ}\text{C}$)	0,0083-0,0093	0,0006-0,00065
Минералды май	0,313-14,5	0,0275-1,29
Мұнай ($t=15^{\circ}\text{C}$)	0,081-0,093	0,007-0,008
Сынап ($t=20^{\circ}\text{C}$)	0,0011	0,0015
Спирт ($t=20^{\circ}\text{C}$)	0,0151	0,0012

Кесте 4. Газдардың кинематикалық тұтқырлығы және үлесті газ тұрақтысы

Газ	$\nu \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{с}$, әртүрлі температурада, $^{\circ}\text{C}$				R, Дж/кг
	0	20	50	100	
Ауа	0,133	0,151	0,178	0,232	287
Метан	0,145	0,165	0,197	0,256	520
Этилен	0,075	0,086	0,104	0,138	296

Кесте 5. Судың тығыздығының (ρ), кинематикалық (ν) және динамикалық (μ) тұтқырлығының температураға ($t^{\circ}\text{C}$) байланыстылығы

$t^{\circ}\text{C}$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\nu \cdot 10, \text{ м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^3, \text{ Па} \cdot \text{C}$
0	999,9	0,0179	1,79
4	1000	0,0152	1,57
20	998	0,0101	1,01
40	992	0,0066	0,65
60	983	0,0048	0,48
80	972	0,0037	0,36
90	965	0,0033	0,31
99	959	0,0028	0,27

Кесте 6. Судың көлемдік сығылу коэффициентінің мәндері ($\beta_c \cdot 10^9, \text{ Па}^{-1}$)

$t^{\circ}\text{C}$	әртүрлі қысымда				
	$50 \cdot 10^4 \text{ Па}$	$100 \cdot 10^4 \text{ Па}$	$200 \cdot 10^4 \text{ Па}$	$390 \cdot 10^4 \text{ Па}$	$780 \cdot 10^4 \text{ Па}$
0	5,4	5,37	5,31	5,23	5,15
5	5,29	5,23	5,18	5,08	4,93
10	5,23	5,18	5,08	4,98	4,81
15	5,18	5,10	5,03	4,88	4,70
20	5,15	5,05	4,95	4,81	4,60

Кесте 7. Су көлемінің жылулық ұлғаюы (β_t , 1/град.)

Қысым, $\text{Па} \cdot 10^4$	әртүрлі температурада, $^{\circ}\text{C}$				
	1-10	10-20	40-50	60-70	90-100
10	1,000014	0,000150	0,000422	0,000556	0,000719
980	0,000043	0,000165	0,000422	0,000548	0,000714
1960	0,000072	0,000183	0,000426	0,000539	-
4900	0,000149	0,000236	0,000429	0,000523	0,000661
8830	0,000229	0,000294	0,000437	0,000514	0,000621

Кесте 8. Жер шарының кейбір пункттеріндегі еркін түсу үдеуінің (g) мәндері

Пункт атаулары	φ , град.	g , м/с^2
Полюс	90°	9,831
45° ендік	45°	9,806
Экватор	0°	9,781
Астана	35°	9,797
Алматы	30°	9,791
Москва	$55^{\circ}45'$	9,815
Санкт-Петербург	$59^{\circ}56'$	9,819
Киев	$50^{\circ}27'$	9,811
Тбилиси	$46^{\circ}42'$	9,803

Ескерту. Әдетте, дененің еркін түсу үдеуінің сан мәнін (техникалық есептеулерде), $9,81 \text{ м/с}^2$ деп алады. Ал оның дәл мәні сол жердің географиялық ендігіне (φ) және теңіз деңгейінің биіктігіне (h) байланысты мына формуламен анықталады,

$$g = 9,806056 - 0,025028\cos 2\varphi - 0,000003h.$$

Кесте 9. Әртүрлі материалдардан жасалған құбырлар үшін эквивалентті бұжырлық

Құбырдың түрі және материалы	Құбырдың күйі	Δ_3 , мм
Түсті металдан және әйнектен жасалған	Жаңа, техникалық жылтыр	0-0,002
Жалғанбаған, таза	Жаңа, ұқыпты сақталған	0,01-0,02
Болат	Таза, жаңа	0,03-0,10
Жалғанған	Шамалы тоттанған Қатты тоттанған	0,3-0,7 2-4
Мырышталған	Жаңа, таза	0,1-0,2
Шойын	Жаңа, ластанбаған Бұрын тұтынуда болған	0,2-0,5 0,5-1,5
Асбест-цемент	Жаңа	0,05-0,1
Бетон	Жаңа Бұрын тұтынылған Өңделмеген бетон	0,15-0,3 0,3-0,8 1-3
Полиэтилен	Таза, жаңа	0,003
Резинадан жасалған шлангілер	Таза, жаңа	0,03

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Әбдіраманов Ә. Гидравлика. – Тараз, 2010, 472 б.
2. Әбдіраманов Ә., Жолдасов С.Қ. Гидравлика. Лабораториялық практикум. Тараз, 2009, 154 б.
3. Әбдіраманов Ә. Манақбаев Б.Х. Су техникасы терминдерінің орысша-қазақша сөздігі. Алматы, «Рауан», 1991, 150с.
4. Андреевская А.В., Кременецкий Н.Н., Панова М.В. Задачник по гидравлике. –М., 1970, 565с.
5. Штеренлихт Д.В. Гидравлика, Энергоатомиздат, -М.:184, 640 с.
6. Справочник по гидравлическим расчетам (под ред. П.Г. Киселева) М. Энергия, 1972, 312 с.
7. Мостков М.А. Гидравлика. –М., 1958, 347с.
8. Избаш С.В. Основы гидравлики. –М, 1952, 423с.
9. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика –М. 1978, 463с.
10. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. –М. 1987, 414с.

Әбдіманап ӘБДРАМАНОВ,
техникалық ғылымдардың докторы, профессор

ГИДРАВЛИКА

Есептер мен жаттығулар жинағы

Редакторы
Корректоры
Компьютерде беттеген:

Төлегенов Ш.
Жолдасов С.
Паримбеков Н.

Басуға 07.06.2010 ж. қол қойылды. Қалыбы 60x84 1/16.
Офсеттік басылым. Шартты баспа табақ 8,84. 9,5 баспа табақ.
Таралымы 500 дана. Тапсырыс №1987.



«Сенім» ЖБО ЖШС-де басылды.
Тараз қ., Төле би көш. 22 үй. Тел. 43-32-84.
E-mail: senim-taraz@rambler.ru