a) қима бойынша орталанған жылдамдық $\bar{U}$ пен Рейнольдс санын анықтау керек. Ағыс ламинарлы ма, әлде турбулентті ме?
b) құбырдың кедергі коэффициентін λ табу керек. Үйкеліс жылдамдығы u_* мен құбыр осіндегі максималды жылдамдықты U_{max} анықтау керек. Тұтқырлы қабатшаның қалыңдығын δ_V бағалаңыз;
c) Қабырғадағы жылжу жанама кернеуін τ_w және қысымдар айырымын $\partial p/\partial x$ есептеңіз;
d) қабырғадағы және құбыр осіндегі турбулентті жылжу кернеуінің мәнін табыңыз. Толық және турбулентті жылжу кернеулерінің графигін салыңыз.

Берілгендері: $\dot{V} = 0.07854$ м^3/с, $d = 2R = 0.1$ м, $\nu = 10^{-6}$ м^2/с, $\rho = 1000$ кг/м^3.

6.1-4-есеп. Ламинарлы және турбулентті ағыстар үшін құбырдағы импульс жән энергия тасымалын салыстыру

Гидравликалық тегіс, радиусы R болатын дөңгелек құбырдағы ламинарлы және турбулентті ағыстар үшін келесі теңдіктерді есептеу қажет:

$$1)\ \frac{U_{max}}{\bar{U}}, \qquad 2)\ \frac{\bar{U}^2 A}{\iint_A \bar{u}^2 dA}, \qquad 3)\ \frac{\bar{U}^3 A}{\iint_A \bar{u}^3 dA}.$$

Жоғарыда айтылған теңдіктерде $\bar{U}$ - аудан бойынша орталанған жылдамдықты, ал $\bar{u}$ - уақыт бойынша орталанған жылдамдықтарды білдіреді. Құбырдағы турбулентті ағыс үшін жылдамдықтың логарифмдік заңын қолданыңыз:

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{U_{max}}{u_*} + \frac{1}{k} ln \frac{y}{R}.$$

Рейнольдс санының мәні $Re = 2300$-ге тең.

6.1-5-есеп. Блазиустың кедергі заңынан шығатын құбырдағы турбулентті ағыс жылдамдығының таралуы

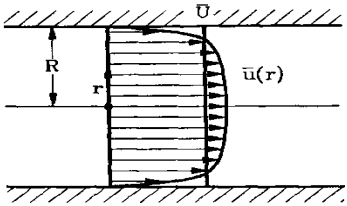
Құбырдағы турбулентті ағыс үшін кедергі коэффициентін λ Рейнольдс санының мына мәндері $5000 < Re < 10^5$ аралығында Блазиус формуласымен есептеуге болады $\lambda = 0.3164Re^{-1/4}$. Радиусы R құбырдағы жылдамдықтың таралуы $\bar{u}(r) = C(R - r)^m$ түрінде болады. Сонда:

a) Блазиус формуласымен үйлесімді болу үшін жылдамдық заңындағы дәреже көрсеткіші $m = 1/7$ шамасына тең болуы керек екенін көрсетіңіз;

b) орташа жылдамдықты $\bar{U}$ есептеңіз;

c) қабырғадағы жанама кернеуді есептеңіз;

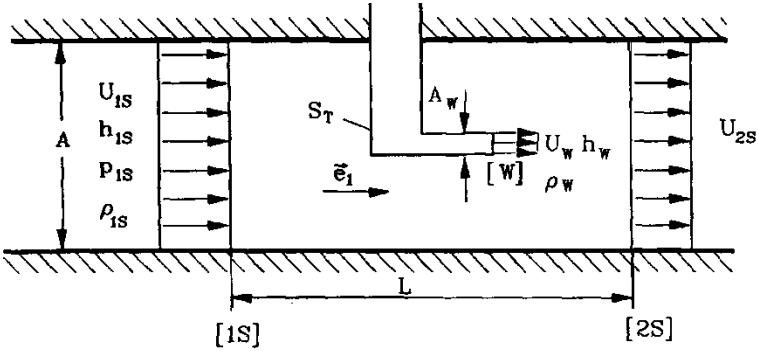
d) жылдамдықтың таралуындағы C тұрақтысын есептеп, жылдамдық $\bar{u}(r)/\bar{U}$ таралуына қойыңыз.



Сурет 181

6.1-6-есеп. Аса қыздырылған буды су ағыншасымен салқындату

Қозғалтқыш қондырғысындағы аса қыздырылған буды су ағыншасын бүрку арқылы салқындатады (*төмендегі суретті қараңыз*). [1S] қимасындағы бу ағынының жылдамдығы U_{1S} және [W] қимасындағы судың жылдамдығы U_W белгілі. [1S], [2S] және [W] қималарындағы ағынды біртекті деп қарастыруға болады. [2S] қимасында енгізілген су ағыншасы толығымен буға айналып кетеді. $\vec{e}_1$ бағытында құбырға бу тарапынан әсер ететін күш $\vec{F}_{S\to T} = \iint_{(S_T)} \vec{t} \cdot \vec{e}_1 \, dS = 500N$ түрінде есептеледі.



Сурет 182

Сонда:

a) Блазиустың кедергі заңын $\frac{\tau_w}{\rho U^2} = 0.0395 Re^{-1/4}$ пайдаланып, қабырғадағы $\vec{e}_1$ бағытындағы толық күшті $\vec{F}_{S\to T}$ табыңыз. Құбырдың қабырғасындағы үйкелістің әсерінен қысымның азаюы ескеріле ме?

b) p_{2S} қысымы анықталатындай импульстің сызықты сақталуын (тепе-теңдігін) бағалаңыз. Импульстың сақталуында $\vec{F}_{S\to T}$ күшін қарастыру қажет пе?

c) Бақылаушы көлем беттерінде ағыс біртекті деп қабылдап, интегралдық формадағы энергия теңдеуін

бақылаушы көлемнің бетіндегі u_i және h шамалары бағаланатындай етіп оңайлатыңыз;

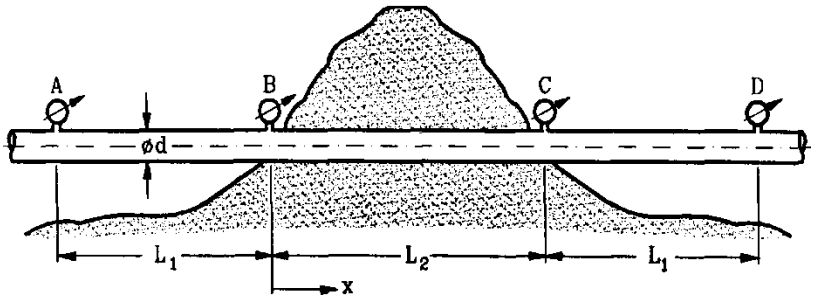
d) энтальпиямен салыстырғанда кинетикалық энергияны елемеуге бола ма?

e) ρ_{2S}, u_{2S}, p_{2S} және h_{2S} белгісіз шамаларын анықтайтын теңдеулер жүйесін құрыңыз.

Берілгендері: $A = 2.4 \cdot 10^5$ мм^2, $A_W = 5.3 \cdot 10^2$ мм^2, $U_{1S} = 80$ м/с, $U_W = 20$ м/с, $\rho_{1S} = 3.26$ кг/м^3, $\rho_W = 916$ кг/м^3, $p_{1S} = 10$ бар, $h_{1S} = 3264$ кДж/кг, $h_W = 632$ кДж/кг, $\nu_{1S} = 7.5 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, $L = 3$ м.

6.1-7-есеп. Тасымалдаушы құбырдың тесілген жерін анықтау

Төбе арқылы өтетін, диаметрі d, гидравликалық тегіс су құбырының тесілген жерін табу үшін A, B, C және D қималарындағы статикалық қысымдарды өлшеген. Қол жетімді AB және CD бөліктерінде тесілген орындар байқалмаған.



Сурет 183

Сонда:

a) құбырдағы ағысты турбулентті деп есептеп және бастапқы мәндерді пайдаланып, B және C қималарындағы көлемдік шығындарды есептеңіз;

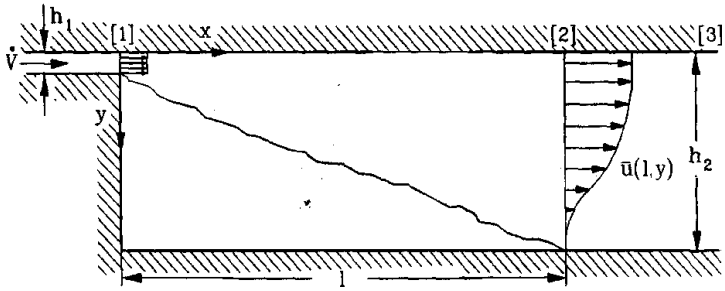
b) тесілген орынның бар екенін тауып, сол саңылау арқылы ағатын судың сұйықтың көлемдік шығынын табыңыз;

c) алынған нәтижелерден тесілген орынды x_L және сол орындағы p_L қысымды табыңыз (мысалы, айналасындағы қысым мәндерін экстрполяциялау арқылы).

Берілгендері: $d = 0.05$ м, $L_1 = 1000$ м, $L_2 = 1500$ м, $p_A = 6$ бар, $p_B = 4$ бар, $p_C = 1{,}5$ бар, $p_D = 1$ бар, $\rho = 1000$ кг/м^3, $\nu = 10^{-6}$ м^2/с.

6.1-8-есеп. Көлденең қимасы кенеттен кеңейетін құбыр

Жазық құбыр бойымен тығыздығы ρ тұрақты, көлемдік шығыны $\dot{V}$ болатын сұйық ағып жатыр. Құбырдың биіктігі [1] қимада кенеттен h_1-ден h_2-ге дейін өзгереді. Ағынның жылдамдығы [1] қимада біртекті деп қабылданады.



Сурет 184

[1] қиманың кенеттен үлкейетін жерінде және $x = l$ арақашықтағы [2] қимада ағыс қабырғалардан үзіліп, қайта жалғанады. [2] қимадан айтарлықтай алыс орналасқан [3] қимада да ағысты біртекті деп қарастыруға болады. [1] және [2] қималардың арасында [1] қимадан айтарлықтай алыс қимадағы жылдамдықтың таралуы жазық турбулентті еркін ағынша жылдамдығы профилінің жартысына тең:

$$\bar{u}(x,y) = \sqrt{\frac{K}{x}}\frac{1}{cosh^2(7.67y/x)}, \qquad (1)$$

мұндағы, x осі ағыншаның симметрия сызығы болып табылады. Жоғарғы қабырғадағы үзілісте ағыс жоқ деп болжанады. Сонымен қатар, құбырдың әрбір қимасында қысым тұрақты деп саналады. Сонда:

a) [1] қимадағы орташа жылдамдықты және [2] қимадағы жылдамдықтың таралуын $\bar{u}(l,y)$ анықтаңыз;

b) қабырғадағы жанама кернеуді ескермей [1] және [2] қималар арасындағы қысымдар айырымын $\Delta p = p_2 - p_1$ есептеңіз. [2] қимадағы жылдамдық профилін (1) формуладан табыңыз;

c) [1] қимада турбулентті шекаралық қабат пайда болған жоғарғы қабырғадағы $(y = 0)$ жанама кернеуді қарастырыңыз. Шекаралық қабат шегіндегі жылдамдық еркін ағынша жылдамдығы профилінің $y = 0$ мәнінде анықталады. $\Delta p = p_2 - p_1$ қысымдар айырымын есептеп, содан кейін b) пунктінің нәтижелерімен салыстыра отырып, жоғарғы қабырғадағы үйкеліс күшін ескермеуге болатынын көрсетіңіз;

d) [2] қимадағы ағысты біртекті деп болжап, сонымен қатар қабырғадағы жанама кернеуді ескерместен $\Delta p = p_2 - p_1$ қысымдар айырымын табыңыз.

Берілгендері: $\dot{V} = 0.3$ м^3/с, $h_1 = 0.02$ м, $h_2 = 10h_1 = 0.2$ м, $l = 23h_1 = 0.46$ м, $\rho = 1000$ кг/м^3, $\nu = 10^{-6}$ м^2/с.

6.1-9-есеп. Тасымалдаушы құбырдың тармақталуы

Тасымалдаушы құбырдың A және B нүктелерінің арасына ұзындықтары мен диаметрлері l_i және d_i, $i = 1,2,\dots,N$ болатын N параллель құбырлар орналастырылған. Жалпы шығын Q-ге тең. Әрбір параллель құбырдағы судың шығынын және A мен B нүктелерінің арасындағы су екпінінің жоғалуын анықтаңыз.

Есептеулерді мына параметрлер үшін жүргізіңіз: $N = 3$, $Q = 160$ л/сек, $l_1 = 250$ мм, $d_1 = 200$ мм, $l_2 = 200$ мм, $d_2 = 200$ мм, $l_3 = 400$ мм, $d_3 = 250$ мм.

Жаттығулар

1. Диаметрі $d = 1$ см болатын құбыр бойымен ағып жатқан су ($\nu = 0.157$ см^2/с) және ауа ($\nu = 0.01$ см^2/с) үшін ламинарлы ағыстан турбулентті ағысқа өту жылдамдығын (критикалық жылдамдық) анықтаңыз. Температура $T = 20$°C.

2. Жылу электр станциясына қондырылған бу турбинасының конденсаторы диаметрі $d = 2.5$ см болатын 8186 салқындатқыш түтікшелерден тұрады. Осы түтікшелер арқылы сағатына 13600 м^2 температурасы $T = 13$°C су ағып өтеді. Осы жағдайда түтікшелердегі ағысты турбулентті деп санауға бола ма?

3. Ішкі диаметрі $d = 5$ см болаттан жасалған құбыр бойымен температурасы $T = 20$°C болатын су $Q = 19.6$ л/с шығынмен ағып жатыр. Құбырдың ұзындығы $l = 1000$ м, ішкі бетінің кедір-бұдырлығының абсолютті шамасы $k = 0.06$ мм. Осыларды пайдаланып құбыр бойында үйкелістің әсерінен қысымның жоғалуын анықтаңыз. *Нұсқау:* кедергі

коэффициентінің келесі заңдылығын пайдаланыңыз $\lambda = 0.11(k/d + 68/Re)^{1/4}$.

4. Температурасы $T = 10°C$ су екі мырышталған болат құбырлардан құралған, көлденең қимасы сақина тәрізді горизонталды құбыр (кедір-бұдырлығы $k = 0.15$ мм тең) бойымен ағып жатыр. Судың шығыны $Q = 40$ л/с тең. Ішкі құбырлың сыртқы диаметрі $d = 75$ мм, ал сыртқы құбырдың ішкі диаметрі $D = 100$ мм. Құбырдың $l = 300$ м ұзындығындағы қысымның жоғалуын анықтаңыз.

5. Диаметрі 30 см, ұзындығы 300 м құбыр бойымен 0.1 $м^3/с$ шығынмен қандай да бір сұйық ағып жатыр. Шығынды 30%-ға арттыру үшін алғашқы құбырға параллель, диаметрі 40 см болатын басқа құбыр жалғанды. Сонда жалғанған құбырдың ұзындығы қандай болуы керек? Екі құбыр үшін де кедір-бұдырлық коэффициентін $k = 0.015$ мм деп алыңыз, сонымен қатар, қысымның жоғалуын ескерменіз.

6.2. Шекаралық қабат теориясы

Шекаралық қабат деп ағыс бағытына перпендикуляр бағыттағы одан (шекаралық қабаттан) тыс жерлердегі құйынсыз ағыстан өзгеше құйынды, жылдамдықтың, температураның, қоспа концентрациясының кенеттен өзгеруі байқалатын жұқа қабатты (аймақты) айтады.

Қабатта болатын ламинарлы немесе турбулентті ағын режиміне байланысты шекаралық қабатты ламинарлы және турбулентті шекаралық қабаттар деп бөледі.

Ламинарлы шекаралық қабаттың пайда болуы негізінен, сұйық тұтқырлығының аз, яғни, Рейнольдс санының үлкен, бірақ осы қабатта турбулентті режим пайда болмайтындай мәнге ие болуына байланысты.

Қатты дене беттінде шекаралық қабаттың пайда болу шарты төмендегідей. Біртекті құйынсыз ағыс қатты дене бетіне жанасқанда сұйық оған «жабысады», сонымен қатар,

сұйықтың қатты бетке жақын жердегі қабаты қатты беттен алыстаған сайын жылдамырақ қозғалады да құйынды қозғалысқа алып келеді. Қатты дене бетінің маңайында пайда болған құйындар ағыспен бірге тасымалдану және қоршаған сұйықпен араласу процестеріне түседі. Егер тасымалдану (конвекция) араласуға (диффузия) қарағанда көбірек болса, онда қатты дене бетінің маңында «қабырға маңы шекаралық қабаты» деп аталатын айтарлықтай жұқа шекаралық қабат пайда болады.

6.2-1-есеп. Шекаралық қабаттағы импульс теңдеуі

Сығылмайтын сұйықтың жазық, орнықталған ағысы үшін шекаралық қабат теңдеуі келесідей болады:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y}=0, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0. \qquad (3)$$

Осы теңдеулерді y айнымалысы бойынша 0-ден $y\to\infty$ мәндері аралығында интегралдап, төмендегі теңдеуді алыңыз

$$\frac{d\delta_2}{dx}+\frac{1}{U}\frac{dU}{dx}(2\delta_2+\delta_1)=\frac{1}{\rho U^2}\tau_w,$$

мұндағы $\delta_1=\int_0^\infty\left(1-\frac{u}{U}\right)dy$ және $\delta_2=\int_0^\infty\left(1-\frac{u}{U}\right)\frac{u}{U}dy$ - сәйкесінше ығыстыру және импульстың жоғалу қалыңдығы деп аталады.

Шешуі

(2) теңдеуден қысымның көледенең бағытта өзгермейтіндігін байқаймыз (яғни, y айнымалысынан тәуелсіз). Оның мәнін шекаралық қабаттың шетіндегі сыртқы тұтқырсыз ағыстан анықталатын қысымға тең деп айтуға болады. Демек, шекаралық қабаттағы қысымды белгілі және оны бойлық координата x мен уақыттың t функциясы ретінде қарастыруға болады.

Шекаралық қабаттың ағынмен жанасқан жеріндегі жылдамдық u сыртқы тұтқырсыз ағынның жылдамдығына $U(x,t)$ тең. Өйткені, бұл аймақта көлденең бағытта жылдамдықтың айтарлықтай өзгерісі (градиенті) байқалмайды, сондықтан (1) теңдеудің сол және оң жағындағы екінші қосылғыштар нөлге айналады. Сол себепті, сыртқы ағын үшін (1) теңдеу келесі түрге ие болады:

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = U\frac{dU}{dx}.$$

Бұған қоса кернеу мен жылдамдық градиенті арасындағы қатынасты $\eta\frac{\partial u}{\partial y} = \tau_{xy}$ ескерсек, онда (1) теңдеу келесі түрге ие болады:

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - U\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0.$$

Осы теңдеуді $y = 0$ (қабырға) және $y = h > \delta(x)$ (шекаралық қабаттан тыс) аралығында интегралдап келесі теңдеуді аламыз:

$$\int_0^h \left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - U\frac{\partial U}{\partial x}\right)dy = \frac{1}{\rho}\int_0^h \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}dy. \qquad (4)$$

Әрі қарай үзіліссіздік теңдеуінен (3) көлденең жылдамдықты v анықтауға болады:

$$v = -\int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy + f(x),$$

мұндағы $f(x)$ сұйықтың қабырғаға жабысу шартынан ($v\ (x, \text{y} = 0) = 0$) нөлге айналады. Сонымен қатар, кернеудің қабырғадағы $\left(\tau_{xy}(\text{y} = 0) = \tau_w\right)$ және шекаралық қабаттан тыс жердегі $\left(\tau_{xy}(\text{y} = h) = 0\right)$ мәндерін ескерсек, (4) теңдеуден мынаны аламыз:

$$\int_0^h \left[u\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy - U\frac{\partial U}{\partial x} \right] dy = -\frac{\tau_w}{\rho}.$$

Осы теңдіктің сол жағындағы екінші қосылғышты (интегралды) бөліктеп интегралдап:

$$\int_0^h u\frac{\partial u}{\partial x} dy - \left[u\int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy \right]_0^h + \int_0^h u\frac{\partial u}{\partial x} dy - \int_0^h U\frac{\partial U}{\partial x} dy = -\frac{\tau_w}{\rho},$$

келесі теңдеуді аламыз:

$$-2\int_0^h u\frac{\partial u}{\partial x} dy + \int_0^h U\frac{\partial u}{\partial x} dy + \int_0^h U\frac{\partial U}{\partial x} dy = \frac{\tau_w}{\rho}. \qquad (5)$$

Бұл теңдеудің сол жағына $u\frac{\partial U}{\partial x}$ шамасын қосып және алып, содан кейін ұқсас мүшелерді біріктірсек, онда (5) теңдеу

$$\int_0^h \frac{\partial}{\partial x}[u(U-u)]dy + \frac{\partial U}{\partial x}\int_0^h (U-u)dy = \frac{\tau_w}{\rho}$$

түріне енеді.

Екі интегралдың астындағы өрнек те шекаралық қабаттан тыс жерде (себебі $u = U$) нөлге айналады, сондықтан интегралдың жоғарғы шегі ретінде $h \to \infty$ мәнін алуға болады. Сонымен қатар, интегралдың жоғарғы шегінің x айнымалысынан тәуелсіз екендігін ескерсек, онда туынды мен интегралдың орнын ауыстыруға болады. Бұған қоса $\delta_2 U^2 = \int_0^\infty u(U-u)dy$ және $\delta_1 U = \int_0^\infty (U-u)dy$ екендігін ескерсек, онда іздеген теңдеуді аламыз:

$$\frac{\tau_w}{\rho} = \frac{d}{dx}[U^2\delta_2] + \delta_1 U\frac{dU}{dx},$$

яғни

$$\frac{d\delta_2}{dx} + \frac{1}{U}\frac{dU}{dx}(2\delta_2 + \delta_1) = \frac{\tau_w}{\rho U^2}.$$

6.2-2-есеп. Жазық пластинадағы кедергі

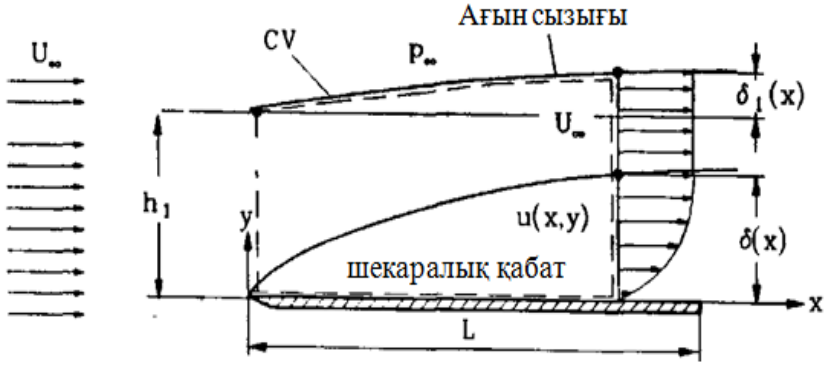
Ұзындығы L, ені z бағытында b-ға ($b \gg L$) тең болатын жұқа пластинаның үстімен жылдамдығы U_∞ сұйық ағып өткенде қалыңдығы $\delta(x) = \sqrt{30\nu x/U_\infty}$ болатын ламинарлы шекаралық қабат пайда болады. Сұйықтың ағысы орнықталған деп саналады.

Сығылмайтын ньютондық сұйықтың ағысы Рейнольдс санының үлкен мәндерінде өтеді деп қабылданады.

Пластинаның жоғарғы жарты бөлігіндегі ағыстың жылдамдық профилі

$$\frac{u(x,y)}{U_\infty} = \begin{cases} 2\dfrac{y}{\delta(x)} - \left(\dfrac{y}{\delta(x)}\right)^2, & 0 \le y \le \delta(x) \\ 1, & y > \delta(x) \end{cases}$$

формуласымен беріледі.



Сурет 185

Сонда:

a) шекаралық қабаттың ығыстыру қалыңдығын $\delta_1(x)$ анықтау керек;

b) пластинаның жоғарғы жартысының сұйыққа келтіретін кедергі күшін $F_к$ келесі жағдайлар үшін есептеу керек: 1) импульс теңдеуінің интегралдық формасын қолданып; 2) $\iint_{(S)} \boldsymbol{P} \cdot \vec{\boldsymbol{n}} dS$ интегралын пластинаның беті бойынша есептеу арқылы, мұндағы, $\boldsymbol{P}$ – кернеу тензоры;

c) Re, $\delta(L)$ және $\delta_1(L)$ мәндерін мына шамалар үшін анықтаңыз: $U_\infty = 10$ м/с, $U_\infty = 50$ м/с, $U_\infty = 100$ м/с.

Берілгендері: U_∞, $\nu = 15.6 \cdot 10^{-6}$ м^2/с, $L = 1$ м, b, p_∞, $\rho = const$.

6.2-3-есеп. Клин (сына) маңындағы ағыс

Клинді ағып өтетін сыртқы ағыс (шекаралық қабаттан тыс жердегі) жылдамдығы "дәрежелік заңмен" берілген: $U = Cx^m, 0 \leq m \leq 1$, мұндағы, $m = \beta/(\pi - \beta)$, β – сына бұрышының жартысы. Ламинарлы шекаралық қабаттағы жылдамдықтың тарау заңын $u/U = \sin(0.5\pi y/\delta)$ белгілі деп есептеп:

a) ығыстыру қалыңдығын δ_1;

b) импульстың жоғалу қалыңдығын δ_2;

c) қабырғадағы жылжу жанама кернеуін τ_w есептеу керек.

6.2-4-есеп. Ығыстыру қалыңдығы

Ламинарлы шекаралық қабат есебінде жылдамдық профилі кубтық парабола заңымен өрнектеледі:

$$\frac{u}{U} = \frac{3}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{\delta}\right)^3,$$

мұндағы, u – қатты қабырғадан y қашықтықтағы жылдамдық және оның мәні $y \to \delta$ болғанда $u \to U$ тең болады. Осыларды пайдаланып, ығыстыру қалыңдығын $\delta_1 = \int_0^\infty (1 - u/U)dy$ және импульстың жоғалу қалыңдығын $\delta_2 = \int_0^\infty (1 - u/U)u/Udy$ есептеңіз. Сонымен қатар, шекаралық қабаттың шекарасындағы жанама кернеуді анықтаңыз.

6.2-5-есеп. Қабырғадағы үйкеліс

Тығыздығы ρ және тұтқырлығы μ сұйықтың жылдамдығы U біртекті ағынына қойылған жазық пластина бетінде пайда болатын ламинарлы шекаралық қабаттағы жылдамдық профилі мына түрде $u/U = 2y/\delta - 2(y/\delta^3 + y/\delta^4)$ берілген. Қабырғадағы үйкеліс жанама кернеуін есептеп және жылдамдықтың таралуы мен үйкеліс кернеуін бір графикке салыңыз.

Есептеулерді мұнайдың келесі параметрлері үшін жүргізіңіз: $\rho = 0.9$ кг/м^3, $\mu = 0.08$ Н$\cdot$с/м^2, $U = 0.2$ м/с.

6.2-6-есеп. Құбыр мен пластина үшін критикалық Рейнольдс санын анықтау

Жазық пластина мен дөңгелек құбыр үшін критикалық Рейнольдс саны сәйкесінше $3 \cdot 10^5$ және 2200 тең екендігін көрсетіңіз.

6.2-7-есеп. Шекаралық қабаттың қалыңдығы

Тығыздығы ρ және динамикалық тұтқырлығы μ болатын сұйық V жылдамдықпен горизонталь жазық пластинаның үстімен ағып өтіп жатыр. Ағыс орнықталған деп есептетеледі. Пластинаның тұмсығынан L қашықтықтағы орынның Рейнольдс саны мен шекаралық қабаттың қалыңдығын есептеңіз.

Есептеулерді судың келесі параметрлері үшін жүргізіңіз: $V = 1$ м/с, $\rho = 1000$ кг/м^3, $\mu = 0.01$ Н$\cdot$с/м^2, $L = 0.1$ м.

Жауаптар

Гидростатика

2. a) 0.759 м; булану қысымының әсерінсіз 0.759 м;
   b) 10.1 м; булану қысымының әсерінсіз 10.3 м;
   c) 12.3 м; булану қысымының әсерінсіз 13.0 м
3. $Рман = 3.54 \cdot 10^4$ Н/м^2
4. H=30 мм
5. H=17.8 мм
7. $p_{ман}$=24.7 кПа; H=0.116 м
8. $p_A - p_B$ =25.7 кПа
9. a) $p=p_0+\rho gH$, b) $p=p_0-\rho gH$, c) $p=p_0+\rho' gH' - \rho gH$,
10. 50 мм
11. θ =12.5^0; s=5
14. 101.100 Па
18. 1450 кг/м^3
19. 1560 кг/м^3
21. $z=H(1-\sqrt[3]{1-\frac{\rho_1}{\rho_2}})$ м
22. 0.01 м^3
23. H=0.7 м, n=6 адам
24. 8420 Н/м^3, h_G=0.07 м
25. ρ >700 кг/м^3
27. 976 м^3
28. 21.9 Н
29. F=11660Н, T=64 Н
30. θ =27^0
31. 19100 Н/м^3

Гидростатика – қабырғаға түсіретін қысым

1. F_R=376 Н, y'=0.3м
2. W=70.278кН
4 F_D=32.9Н
5 a) Fv=73.9kH, x'=1.06м, b) F_{AH}=34.8kH, c) F_{AV}=30.2kH

7 $9.84\cdot 10^3$ Н

8 F_R=23,94кН; В нүктесінен 1.07 м жоғары

Бернулли теоремасы

1. а) h=0.84 м, б) d_1=100 мм

2. V_2=11.7 м/с; P_A=22.8 кПа

4. 1.48 кПа

7. $v_1 = 6.79\frac{м}{с}$; $v_2 = 4.02\frac{м}{с}$; $v_3 = 1.7\frac{м}{с}$

8. 2.53 м

9. - 7,49 м

10. 0.957 м

12. $0{,}0156D^2/[(0.1)^4-D^4]^{1/2}$ м^3/с

14. Q=6.71 л/с b) Q=5.32 л/с

15. а) 1.3 м; b)12.7 кПа

18. $9.9\cdot 10^{-3}$ м^3/с

19. v=6.45 м/с; Q=$1.3\cdot 10^{-3}$ м^3/с

Потенциалды ағыстар.

1 $\varphi = xy^2 - x^3/3$

2. $\vec{V} = -2(y\vec{i} + x\vec{j})$

3. $\psi = \frac{B(x^2-y^2)}{2} - 2Axy$

4. $\vec{V} = -(2x+1)\vec{i} + 2y\vec{j}$; $\psi = -(2xy + y)$; $\nabla p =$ 12 кН/м^2

5. $|\vec{V}| = x^2 + y^2$; ; $\psi = xy^2 - \frac{x^3}{3}$

6. $\varphi = 3A(x^2y - x^3)$;

7. $\varphi = 5/3x^3 - 5xy^2 + C$;

9. $\varphi = Alnr + Brcos\theta + C$; $\theta = \pi$, $r = A/B$

10. 417.13 кПа

12. а) иә; б) иә, $\varphi = 2(x+y) + C$; с) 0

14. а) $\varphi = U(0{,}866x + 0.5y); \psi = U(0{,}866y - 0.5x)$; б)$\frac{\partial P}{\partial y} = -\gamma$

16. $Q = 1$ м^3/с;

17. $\vec{\omega} = -0{,}5\vec{k}$ рад/с; $\Gamma = -0{,}5$ м^2/с

18. $\psi = \frac{A(y^2 - x^2)}{2} + By$; $\Gamma = 0$

19. $\vec{\omega} = -2x\vec{k}$; $\Gamma = -2$ м^2/с; $\psi = 2xy^2$

20. $\vec{V} = -2y\vec{i} - 2x\vec{j}$;

21. q=-0.097 м^2/с

23. $z_s = -\frac{\Gamma^2}{8\pi^2 r^2 g}$

25. $y = \frac{m}{2\pi U}\theta$; $H = 0.007$ м

27. $h^2 = \frac{m}{2\pi A}$

29. $F_x = 479.22$

30. а) $\Gamma = 0$; б) $\Gamma = -4\pi U a$

31. $C = \sqrt{\frac{2}{3}}$

32. а) 3.47 м; б) 21.64 м

33. a=1.625 м

34. $x = 2.93a$; $U = 1.387\frac{m}{a}$

35. $F = 2ab(p_i - p_0) + 8/3\,\rho U_\infty^2 ab$; $p_0 = p_\infty + \frac{\rho}{2}U_\infty^2$

38. $\theta = 125^0$

39. $\theta = 60^0, \theta = 120^0$

40. $a)\ m > \frac{U_\infty a}{2}$; $y = \pm\sqrt{\frac{2m}{U_\infty a} - 1}$; b) $m < \frac{U_\infty a}{2}$; $x = \pm\sqrt{1 - \frac{2m}{U_\infty a}}$

Тұтқыр сұйық ағысы

16. $-\frac{r_0\omega}{r_0 - r_i}$

17. $\psi = U_c\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{y}{h}\right)^2\right] + C$. Бұл ағысты сипаттайтын жылдамдық потенциалы жоқ. Ағыс құйынсыз емес.

18. $\Delta p = 20.4$ кПа

19. $u = \frac{U_1 - U_2}{b} y - U_2$

20. $\frac{U\mu_1}{\mu_1 + \mu_2}$

21. $\frac{y}{b} = \frac{1}{3}$

22. а) $u = \frac{U}{b} y$; б) $Q = \frac{Ub}{2}$

Газ динамикасы

Сығылмайтын сұйық ағыстары.

1. M=0.533; 1.08
2. M=0.829
3. V=274 м/с, M=0.925
5. P_0=126. 128 кПа (абс)
6. V=515 м/с; t=6.16 с.
7. t=8.51 с.
8. dQ/dm=63.0 Btu/lbm; p_{02}=56.5 psia
9. T_0=445 K, p_{01}=223 кПа, p_{02}=145 кПа
10. T*=2730K, p*=25,4 МПа (абс), V*=1030 м/с

Сығылатын сұйық ағыстары

11. M=1.2
12. S=194*10^{-3} м^2
13. p=150кПа, M=0.6, S=0.0421 м^2, Q=18.9 кг/с
14. p=166 кПа
15. Q=0.548 кг/с
16. $p_0 \geq$191 кПа, Q=1,28 кг/с
17. Q=8.50 кг/с
18. R_x=1560 Н.
19. S_2=0.0340 м^2, V_2=424 м/с
20. δQ/dm=145кДж/кг; Δp=405 кПа

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. J.H.Spurk. Fluid Mechanics. Problems and Solutions.- Springer, 1997. - 600p.
2. B.R. Munson, D.F. Young, T.H. Okiishi, W.W. Huebsch. Fundamentals of Fluid Mechanics. – USA:Wiley, 2009. – 783p.
3. R. W.Fox, A.T.McDonald, Ph.J.Pritchard. Introduction to Fluid Mechanics.- USA: Wiley, 2004. – 787p.
4. F.M.White. Fluid Mechanics.
5. Y. Nakayama, R.F. Boucher. Introduction to Fluid Mechanics. – Oxford.
6. Сборник задач по гидравлике: Учеб. Пособие для вузов/ под ред. В.А.Большакова. – 4-е изд., -Киев: Вища школа, 1979. – 336с.
7. В.Н. Метревели. Сборник задач по курсу гидравлики. – М.: Высш. шк., 2008. – 192 с.
8. Kundu, Pijush K. Fluid mechanics / Pijush K. Kundu, Ira M. Cohen. – 4th ed. Elsevier ,2010 – 872p
9. Kay, Melvyn. Practical hydraulics / Melvyn Kay. – 2nd ed. - New York, Taylor & Francis, 2008 - 253p
10. Jean-Laurent Peube. Fundamentals of Fluid Mechanics and Transport Phenomena. –Wiley, 2009 – 521 p.
11. J. F. Douglas, J. M. Gasiorek, J. A. Swaffield and Lynne B. Jack. Fluid mechanics. - Pearson Education Limited, 2005 -5th ed.
12. Zucker, Robert D. Fundamentals of gas dynamics.—2nd ed. –USA, Wiley -2002