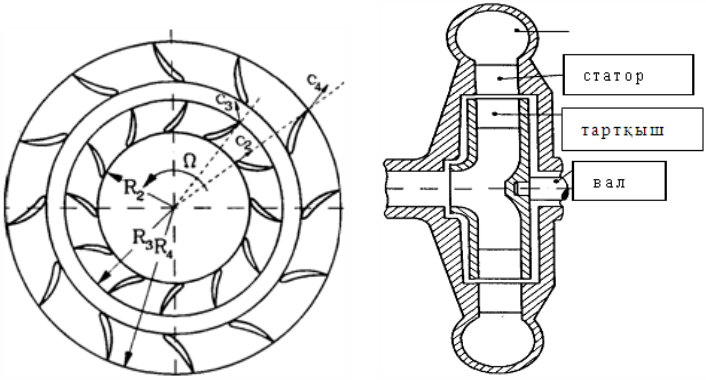
ескермеу қажет және сұйықты тұтқырсыз сығылмайтын деп санау керек. Сонда:

a) [2], [3] және [4] қималардағы қысымды анықтау қажет;

b) сорапты басқару үшін кіреберістегі қысымды P_D энергия теңдеуін қолданып есептеу керек;

c) Эйлердің газ турбинасына арналған теңдеуін қолданып, P_D қысымды есептеу керек.

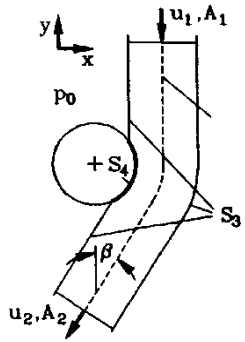


Сурет 71

Берілгендері: R_2, R_3, R_4, c_1, c_2, c_3, c_4, c_{u_3}, Ω, p_1, ρ.

2.5-есеп. Коанд құбылысы

Иілген қабырғаға сұйықтың жабысу құбылысын Коанд құбылысы дейді. Массалық және тұтқырлық күштерін есепке алмай ағыншаның ауытқу бұрышын β табу керек (сұйықтың тығыздығы ρ, көлденең қимасының ауданы A_1, жылдамдық u_1 тең). Күштің F_x құраушысын белгілі деп алып, цилиндрді ұстап тұру үшін қажетті толық күшті анықтау керек (Сурет 72).



Сурет 72

Берілгендері: F_x, ρ, A_1, u_1.

2.6-есеп. Шашыранды ағынша принципі

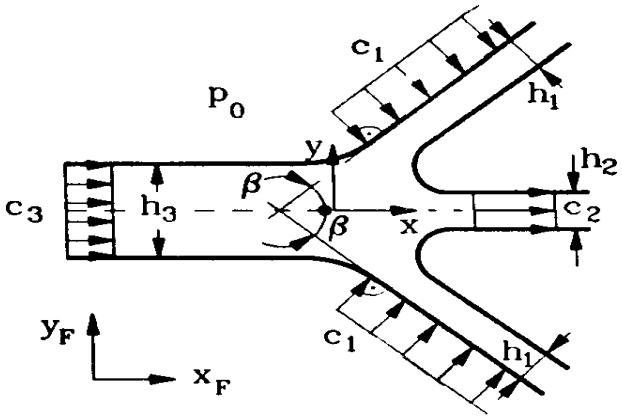
Симметриялы орналасқан екі ағынша (сұйық тығыздығы $\rho = const$, қалыңдығы h_1) бір-біріне β (β<90^0) бұрышпен суретте көрсетілгендей ағып жатыр. Суретте көрсетілгендей етіп сәйкес координаталар жүйесі таңдап алынса, есеп орнықталған есепке келтіріледі (Сурет 73). Осындай жағдайда:

a) координаталар жүйесінің $\vec{v}$ жылдамдығын;

b) шығатын ағыншалардың h_2, h_3 қалыңдығын;

c) жылдамдықтардың $\vec{c}_2, \vec{c}_3$ абсолют шамасын;

d) бірлік қалыңдыққа келетін ағын массасын $\dot{m}_2, \dot{m}_3$ анықтау керек.

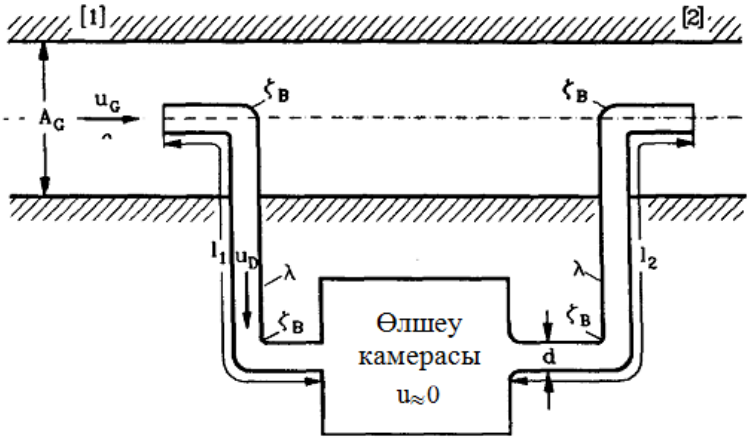


Сурет 73

Берілгендері: $c_1 = |\vec{c}_1|, h_1, \beta, \rho.$

2.7-есеп. Қалдық газды талдағыш құралдағы (анализатордағы) ағын

Газдық талдағыш (диаметрлері d, ұзындықтары l_1 және l_2) түтіктерден және өлшеу камерасынан тұрады (Сурет 74) және түтін жүйесінінің қимасы үлкен A_G аралығына орнатылған ($\frac{d}{A_G} \ll 1$). Ол түтін газын өлшеу камерасында талдаудан өткізеді. Өлшеу камерасындағы газ жылдамдығын түтік ішіндегі газ жылдамдығымен салыстырғанда өте аз ($u \approx 0$). [1] және [2] қималар арасындағы ағысты тұтқырсыз деп қарауға болады, бірақ түтік бойындағы кедергілерді ескеру керек ζ_B, λ.



Сурет 74

Камераның түтікке жалғасқан аралығы түтіктегі газ ағысы сығылуға ұшырамайтындай етіп жасалған. Сонда:

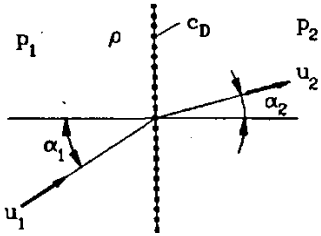
a) талдағыш түтікте ағын жылдамдығын u_D табу керек;

b) талдағыш арқылы ағып өтетін газ мөлшерін анықтау қажет.

Берілгендері: $\rho, u_G, A_G, l_1, l_2, d, \zeta_B, \lambda.$

2.8-есеп. Ағыстың тордан өткенде ауытқуы

Тығыздығы ρ болатын сұйық тордан ағып өтіп жатыр (Сурет 75.). Ағын торға u_1 жылдамдықпен ағып келіп жатыр және торға жанасқан жердегі қысымы p_1 тең. Ағын бағыты мен торға перпендикуляр сызық арасындағы бұрыш α_1 тең.



Сурет 75.

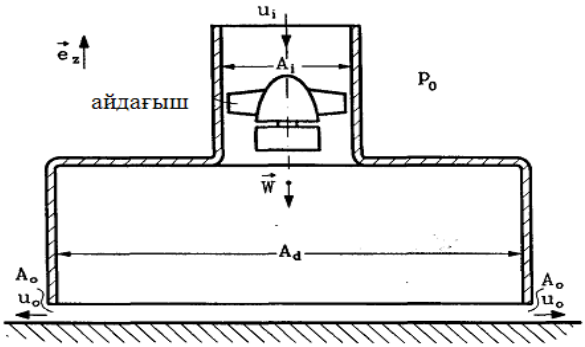
Ағынға тор тарапынан бірлік ауданға түсірілген кедергі күші $D = c_D \rho u_1^2/2$ әсер етеді, мұндағы c_D кедергі коэффициенті берілген.

Ағынның тордан шығаберістегі жылдамдығын u_2, ауытқу бұрышын α_2 және қысымын p_2 анықтау қажет.

Берілгендері: ρ, u_1, p_1, α_1, c_D.

2.9-есеп. Ауа ағысында қалқып тұрған әуе кемесі

Суретте салмағы W кеме ауа ағысында тұр (Сурет 76). Қысымы p_0 қоршаған ауа қысымы жоғары камераға айдағышпен (нагнетатель) беріледі және осы камерадан төменгі жағындағы айнала жасалған саңылау (ауданы A_0) арқылы ағып шығып кетіп отырады.



Сурет 76

Айдағыштың көлденең қимасының ауданы A_i, қысымы p_i, камераның көлденең қимасының ауданы A_d, қысымы p_d.

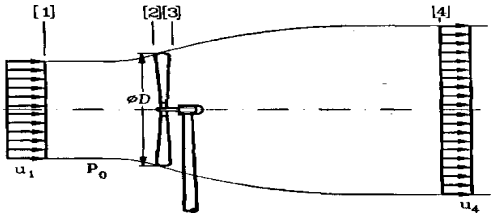
Камерадағы ауа жылдамдығын және оның қабырғасында пайда болатын үйкелісті ескермеуге болады. Суретте көрсетілгендей кеме ауа ағынында қалқып тұруы үшін айдағыш арқылы берілетін ауа шығынын табу керек.

Берілгендері: p_0, p_i, p_d, A_0, A_i, A_d, W, ρ.

2.10-есеп. Жел турбинасы

Жел турбинасы жылдамдығы u_1 тұрақты болатын ауа ағынына қойылған (Сурет 77). Суретте көрсетілген ағын түтігіне қамтылған ауа бөлшектерінің түгелдей дерлігі турбинаның қалақшасы арқылы өтеді, ал турбина қалақшасы Ω бұрыштық жылдамдықпен айналады. [1] және [4] қималардағы ағыс толықтай біртекті деп саналады. Турбина қалақшасын идеалды түрде жазық диск деп қарауға болады және ол өз кезегінде ағыс қысымына үзік-үзік әсер етеді.

Жел турбинасының айналысынан пайда болған дөңгелектік жылдамдықты ескермеуге болады.



Сурет 77

Қалақшаларды ұстап тұрған тіреу ағынға әсер етпейді санауға болады және оның тығыздығы тұрақты.

a) Тіреуге әсер ететін осьтік қысымды $F_{axial} = F_{axial}(u_1, u_4, \dot{m})$ анықтаңыз;

b) Ағын түтігіндегі ауаның массасын (массалық шығын) $\dot{m}$ және ағынның орташа $\bar{u}$ жылдамдығын u_1 және u_4 жылдамдықтары арқылы өрнектеңіз;

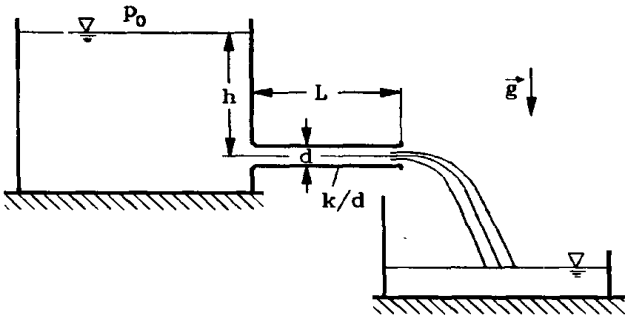
c) Идеалды жел турбинасының тиімді аэродинамикалық коэффициентін η^* есептеңіз;

d) Диаметрі $D = 50$ м, дөңгелектік жылдамдығы $u_1 = 10$ м/с және тығыздығы $\rho = 1.225$ кг/м^3 болатын турбинаның тиімді энергиясын және тірекке әсер ететін күштің бойлық құраушысын анықтау қажет.

Берілгендері: ρ, u_1, u_4.

2.11-есеп. Сұйықтың жоғарғы ыдыстан төменгі ыдысқа құйылуы

Сұйықты суретте көрсетілген сызба бойынша жоғарғы ыдыстан төменгі ыдысқа түтік арқылы құю керек (Сурет 78). Сұйық төменгі ыдысқа үлкен көлемдік шығынмен $\dot{V}_0$ ағып шығатындай берілген екі түтіктің бірін таңдау керек. 1 кестеде екі түрлі түтіктің параметрлері берілген.



Сурет 78

1-кесте. Түтіктердің сипаттамалары

	1 түтік	2 түтік
L, м	5	7.5
d, м	0.1	0.125
k/d	0.0002	0.0004

Сонда:

a) түтік бойындағы ағысты турбулентті деп есептеп, екі түтіктің қайсысын таңдаған болар едіңіз?

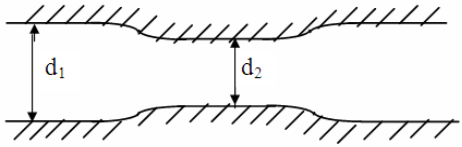
b) қажет деп алынған түтіктің көлемдік шығынының ұзындығы және көлденең қимасы дәл сондай, бірақ көлденең

қимасы: 1) тең қабырғалы үшбұрыш; 2) квадрат болып келетін түтіктің көлемдік шығынына қатынасын табыңыз.

Берілгендері: h=10 м, $\nu = 10^{-6}$ м^2/с, $g = 9.81$ м/с^2.

2.12-есеп. Құбырдағы ауа ағысының шығынын анықтау

Диаметрі d_1 болатын құбырға диаметрі d_2 болатын қимасына вентуриметр қойылған (Сурет 79). Ауаны тұтқырсыз деп есептеп, оның массалық шығынын табу керек. Вентуриметрдегі қысымдар айырмасы Δp, ал оған кіреберіс қиамадағы қысым мен температура сәйкесінше мыналарға тең p_1, T_1.

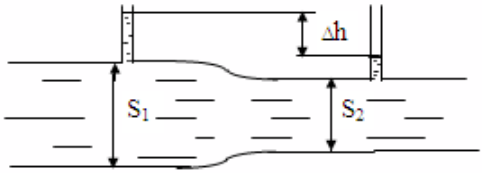


Сурет 79

Берілгендері: d_1, d_2, $\Delta p = p_1 - p_2$, p_1, T_1.

2.13-есеп. Көлденең қимасы өзгермелі горизонталь құбыр бойымен ағатын сұйықтың шығынын анықтау

Екі манометр түтікшелері горизонталь құбырдың ауданы S_1 және S_2 болатын қималарына орналастырылған (Сурет 80). Егер манометр түтікшелеріндегі су деңгейлерінің айрымы Δh тең болса, онда құбыр қимасы арқылы бірлік уақытта ағып өтетін судың шығынын анықтау қажет.

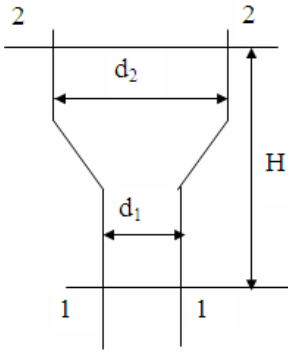


Сурет 80

Берілгендері: $\Delta h, S_1, S_2$.

2.14-есеп. Сұйықтың көлденең қимасы өзгермелі құбыр бойымен ауырлық күші өрісінде ағуы

Қимасы өзгермелі вертикальды құбыр бойымен тығыздығы ρ болатын сұйық ағып жатыр (Сурет 81). Құбырдың 1-1 қимасының диаметрі d_1, ал 2-2 қимасының диаметрі $d_2 > d_1$, қысымы p_2 тең. Екі қиманың арасы H тең. Сұйық жоғары қарай ағуы үшін 1-1 қимасындағы қысым p_1 қандай болуы қажет және керісінше, төмен қарай ағуы үшін қысым қандай болу керек.



Сурет 81

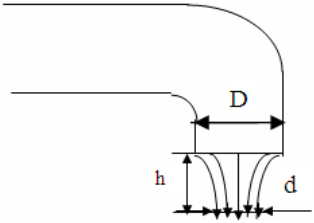
Екі жағдайда да сұйықтың шығынын Q деп есептеңіз. Төменнен жоғары қарай ағыс үшін қысымның жоғалу коэффициенті ξ_{1-2} жоғарыдан төменге қарай аққанға қарағанда ξ_{2-1} көбірек.

Берілгендері: $\rho, d_1, d_2, p_2, Q, H, \xi_{1-2}, \xi_{2-1} < \xi_{1-2}$.

2.15-есеп. Ағыншаның краннан ағып шығуы

Краннан су ағып жатыр. Ағыншаның краннан шыға берістегі диаметрі D, ал одан h арақашықтықтағы қимасының

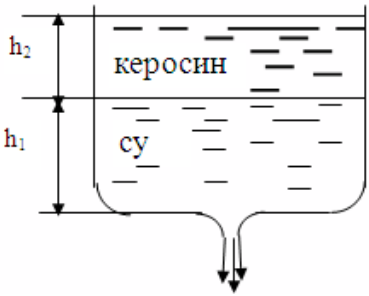
диаметрі d тең (Сурет 82). Ағыншаның көлемдік шығынын анықтау қажет.



Сурет 82

2.16-есеп. Сұйықтың ыдыстан өз салмағымен ағып шығуы

Түбінде кішкене саңылауы бар үлкен ыдыс сумен (тығыздығы ρ_1) және керосинмен (тығыздығы ρ_2) суретте көрсетілгендей етіп толтырылған (Сурет 83). Егер су қабатының қалыңдығы h_1, керосин қабатының қалыңдығы h_2 болса, онда судың саңылау арқылы ағып шығу жылдамдығын анықтаңыз.

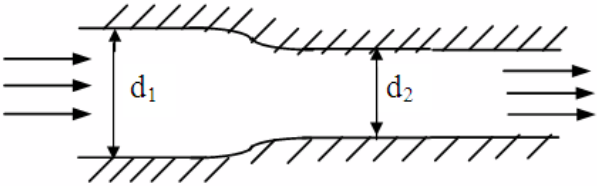


Сурет 83

Берілгендері: ρ_1, ρ_2, h_1, h_2.

2.17-есеп. Көлденең қимасы өзгермелі құбыр

Диаметрі d_1 құбырдың кіреберіс қимасындағы жылдамдық V_1, температура T_1 және қысымы P_1 тең (Сурет 84). Қысым бүкіл ағыс бойында жоғалмайды деп құбырдың қимасы екі есе кішірейген жеріндегі жылдамдықты және ауаның секундтық шығынын табыңыз.



Сурет 84

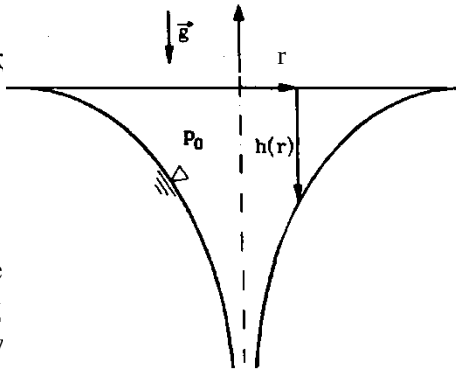
Берілгендері: $d_1 = 200$ мм, $V_1 = 60$ м/с, $T_1 = 310$ К, $P_1 = 2.45 \cdot 10^5$ Па.

2.18-есеп. Потенциалды құйындағы еркін бет

Потенциалды құйынның жылдамдық потенциалы:

$$\Phi = U_0 r_0 \operatorname{arctg}\left(\frac{y}{x}\right) = U_0 r_0 \varphi.$$

Жылдамдық таралуын және потенциалды құйынның еркін бетінің $h(r)$ төмендеу заңдылығын есептеңіз.

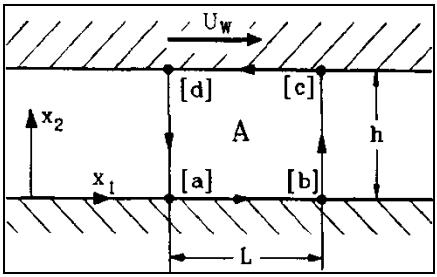


Сурет 85

Берілгендері: $U_0, r_0, \rho, \vec{g}$.

2.19-есеп. Куэтт ағынындағы циркуляция

Тығыздығы және тұтқырлығы тұрақты ньютондық сұйық екі шексіз ұзын жазық пластинаның арасындағы кеңістікті толтырып тұр (Сурет 86). Төменгі қабырға қозғалмайды, ал жоғарғысы $U_W\vec{e}_1$ жылдамдықпен қозғалады.



Сурет 86

a) Каналдағы жылдамдықтың таралуын анықтаңыз.

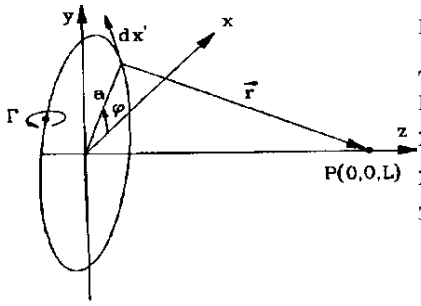
b) A аймағын қамтитын тұйық қисықтың циркуляциясын есептеңіз:

1) контур бойынша интеграл есептеу арқылы,

2) Стокстың интегралдық теоремасы арқылы.

Берілгендері: U_W, L, h.

2.20-есеп. Құйын сақинасы тудыратын жылдамдық



Сурет 87

Радиусы a және циркуляциясы Г тұрақты дөңгелек құйын жібі $P(0,0,L)$ нүктесінде $\vec{u}(0,0,L)$ жылдамдығын тудырады. Осы жылдамдықты Био-Савардың заңын пайдаланып есептеңіз.

Берілгендері: a, Γ, L.

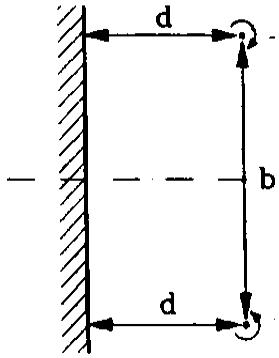
2.21-есеп. Қабырға маңындағы екі шексіз ұзын құйын жіптері

$t = t_0$ уақытында бір-бірінен b арақашықтықта болатын екі шексіз ұзын құйын жіптері қабырғадан d қашықтықта орналасқан (Сурет 88).

а) бейнені шағылыстыру әдісін пайдаланып $\vec{u} \cdot \vec{n} = 0$ шекаралық шартын қанағаттандырыңыз;

b) $t = t_0$ уақытында құйын жіптерінің жылдамдықтарын есептеңіз;

c) екі құйынның қозғалыс траекторияларының сапалық суретін салыңыз.



Сурет 88

Берілгендері: d, b, Г.

2.22-есеп. Циркуляциясы құлаш бойынша эллиптикалы таралатын қанат

Қанаттың көтеру күші мен ұйтқыту жылдамдығының таралуын есептеу үшін біз қанаттың құлашы бойынша циркуляцияның эллиптикалық таралуы моделін қолданамыз:

$$\Gamma(y) = -\Gamma_0 \sqrt{1 - \left(\frac{y}{b/2}\right)^2}.$$

Гельмгольцтың құйын туралы бірінші теоремасына сәйкес кез келген y' нүктеде қарқындылығы $d\Gamma = (d\Gamma/dy')dy'$ шексіз кіші еркін құйын пайда болады.

a) жалғасқан құйын аймағында еркін құйындардан туындайтын ұйтқыған жылдамдықты $w(y)$ (ағынның ауытқуын) есептеңіз;

b) жалғасқан құйын аймағында туындаған $\alpha_{ind} = w/U_\infty$ атқылау бұрышын есептеңіз;

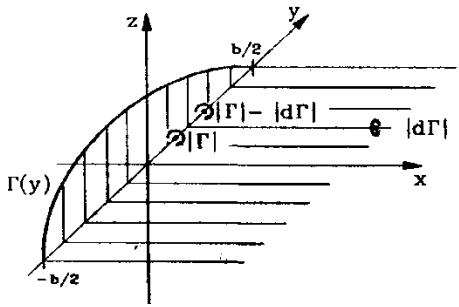
c) Кутта-Жуковский теоремасын:

$$L = \rho U_\infty \int_{-b/2}^{b/2} -\Gamma(y)\, dy$$

пайдаланып қанаттың көтеру күшін анықтаңыз;

d) Пайда болған D_{ind} кедергі күшін есептеңіз.

Нұсқау: $-1 < a < 1$ үшін $\int_{-1}^{1} \frac{t\, dt}{(t-a)(1-t^2)^{\frac{1}{2}}} = \pi.$



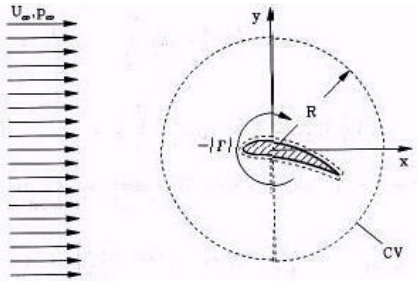
Сурет 89

2.23-есеп. Параллель ағындағы қанат профилі

Қанаттан (z бағытында шексіз ұзын) айтарлықтай алыста жылдамдық өрісін

$$\Phi = U_\infty\, r\, \cos\varphi + \frac{\Gamma}{2\pi}\varphi, \quad (\Gamma < 0).$$

потенциалы арқылы өрнектеуге болады.



Сурет 90

Бұл потенциал параллель ағын мен қарқындылығы Г (сағат тілінің айналуымен бағыттас) потенциалды құйынның беттесуінің нәтижесі. Екі өлшемді сығылмайтын сұйық тұтқыр емес және көлемдік күштерді ескермеуге болады. Ағынның ұйтқымаған аймағында қысым p_∞.

a) Жылдамдық және қысым өрістерін цилиндрлік координаталарда есептеңіз;

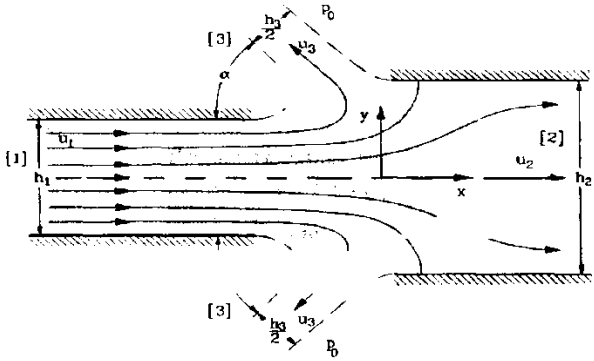
b) Импульстың сақталу заңын пайдалана отырып, қанатқа әсер ететін бірлік тереңдікке тиісті күшті анықтаңыз.

Берілгендері: $U_\infty, \Gamma, \rho, p_\infty$.

2.24-есеп. Бетц диффузорындағы ағыншаның бұрышы

Сұйық u_1 жылдамдықпен суреттегі Бетц диффузорына ағып кіреді. [3] қимасында еніп жатқан ағын массасының бір бөлігі қоршаған ортаға (қысымы p_0) α бұрышпен шығарылады. Сұйықтың потенциалды ағыны екі өлшемді,

тұтқыр емес деп жорамалдасақ, онда Бернулли тұрақтысы барлық ағын сызықтарында бірдей болады.



Сурет 91

Есептің симметриялы болуына байланысты күш диффузорға y бағытында әсер ететін F_y күш нөлге тең. Сұйық тұтқыр болмағандықтан, диффузорға x бағытында әсер ететін F_x күш те нөлге тең.

Сонда:

a) [3] қимада қоршаған ортаға шығатын ағыншаның $h_3/2$ қалыңдығын есептеңіз;

b) $p_1 - p_0$ және $p_2 - p_0$ қысым айырмаларын есептеңіз;

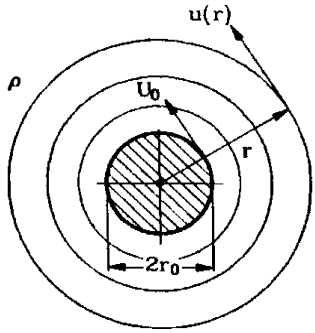
c) $F_x = 0$ деп қарастырып, α бұрышын есептеңіз.

Берілгендері: $u_1, u_2, u_3, h_1, h_2, \rho, p_0$.

2.25-есеп. Тұтқырсыз және осьтік симметриялық ағындағы қысымның таралуы

Тұтқыр емес сұйықтың осьтік симметриялы жазық ағыны үшін жылдамдықтың таралуы берілген:

$$u(r) = U_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^n.$$



Сурет 92

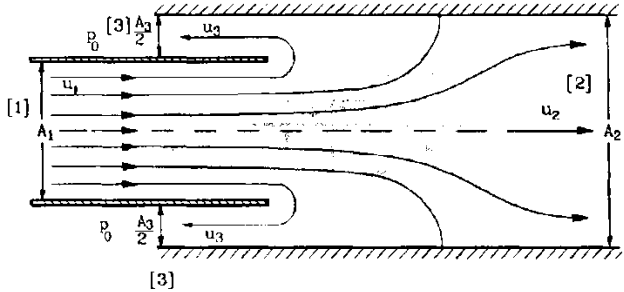
a) $p(r_0) = p_0$ шартын ескеріп $p(r)$ қысымның таралуын анықтаңыз;

b) Бернулли тұрақтысы ағын өрісі бойынша өзгермейтіндей n дәреже көрсеткішін табыңыз.

Берілгендері: r_0, U_0, n, ρ, p_0.

2.26-есеп. Бетц диффузорындағы статикалық қысымның өсуі

Тығыздығы тұрақты ауа Бетц диффузорына көлденең қимасы A_1 болатын [1] қимасынан кіреді. Кіріп жатқан ауа ағыныны массасының 15%-ы [3] қимасында қысымы p_0 қоршаған ортаға симметриялы түрде шығарылады. [2] қимада ағын сызықтары өзара параллель. Қабырға бойында ағын бағыты бойынша қысым азаятын болғандықтан диффузордың қабырғаларында ағын сепарацияланбайды.



Сурет 93

Сондықтан біз сұйықтың жоғалуы болмайтын орнықталған ағын деп жорамалдай аламыз.

a) 1) $p_2 - p_1$ қысым айырымын есептеңіз.

2) p_{tot} қорытынды қысымның [1] қимадан [2] қимаға дейін өзгеруін есептеңіз.

b) A_3 көлденең қимасының ауданын анықтаңыз.

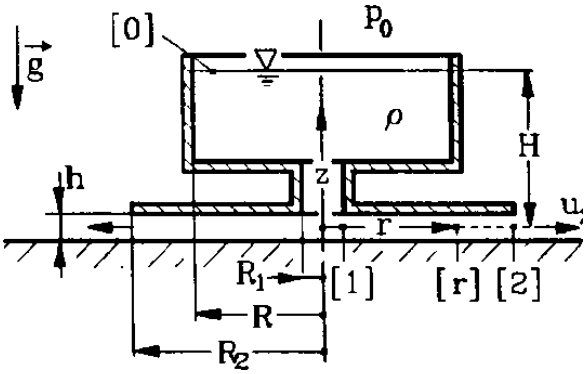
Берілгендері: $\rho = 1.15$ кг/м^3, $u_1 = 20$ м/с, $p_1 - p_2 = 100\ Pa$, $A_1 = 0.04$ м^2, $A_2 = 0.07$ м^2.

2.27-есеп. Ыдыстан ағып шығатын сұйық

Тығыздығы ρ тұрақты сұйық радиусы R ыдыстан орнықталған ағынмен ағып шығады. Шыға беріс қуыс радиусы R_2 екі дөңгелек дисктерден құралған. Сонда:

a) Көлемдік шығынды анықтаңыз.
b) дисктердің арасындағы қысымның таралуын r радиустың функциясы ретінде өрнектеңіз.

[1] қимасында сұйық буланбайтындай R_2/R_1 қатынасын табыңыз. Булану қысымы p_V.

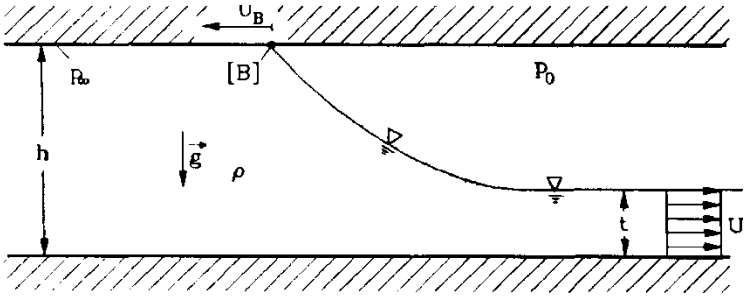


Сурет 94

Берілгендері: $H,\ h,\ R,\ R_2,\ p_0,\ \rho,\ g.$

2.28-есеп. Каналға ауаның ағып кіруі

Тығыздығы тұрақты ρ сұйықпен толтырылған биіктігі h ұзын жазық канал толықтай жабылған (Сурет 95). Кенеттен каналдың оң жақ шеті ашылады.



Сурет 95

Белгілі бір жағдайда ауа каналға [B] нүктесінің жылдамдығына сәйкес келетін U_B жылдамдықпен кіреді, және каналдағы сұйық U жылдамдықпен сыртқа қарай ағады. Тұтқыр емес сұйықтың ағыны деп қарастырып келесі жағдайларды есептеңіз:

a) шығып бара жаткан сұйық қабатының t калындыгын;
b) [B] нүктесінің U_B жылдамдығын,
c) U шығу жылдамдығын, және
d) каналдың жоғарғы қабырғасында [B] нүктесінен алыс жатқан $[\infty]$ нүктесіндегі p_∞ қысымды.

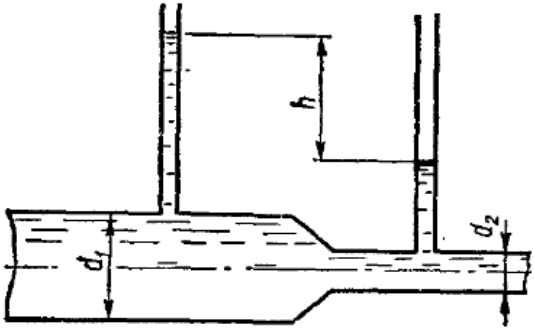
Нұсқау: Координат жүйесі [B] нүктесіне бекітілген, яғни, U_B жылдамдықпен қозғалады деп қарастырсақ, онда ағын стационарлы болып табылады.

Берілгендері: h, p_0, ρ, g.

Жаттығулар

Бернулли теоремасы

1. Көлденең қимасы айнымалы құбыр арқылы су $Q = 9$ л/с шығынмен ағып өтеді (Сурет 96). Құбырдың тарылған бөлігінің диаметрі $d_2 = 50$ мм. а) $d_1 = 75$ мм болса, пьезометрлердегі көрсеткіштер айырымы h-ты табыңыз. б) $h = 1.03$ м болғанда d_1-ді есептеңіз.



Сурет 96

2. Су тұрақталған түрде **U** – тәрізді үлкен ыдыстан жіңішке түтікше арқылы сыртқа ағып жатыр (Сурет 97).