

*Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы
Кафедра агульнай фізікі
Лабараторыя механікі
ауд. 408*

Лабараторная работа №10

ВЫВУЧЭННЕ ЎЛАСЦІВАСЦЕЙ ВАДКАСЦЕЙ І ГАЗАЎ

для студэнтаў спецыяльнасці “ФІЗІКА”

Гродна, 2010

ВЫВУЧЭННЕ ЎЛАСЦІВАСЦЕЙ ВАДКАСЦЕЙ І ГАЗАЎ

Мэта работы:

Вывучэнне ўласцівасцей вадкасцей і газаў. Доследнае вызначэнне каэфіцыента вязкага трэння масла метадам Стокса, поўнага статычнага і дынамічнага ціскаў, скорасці цячэння паветра ў гарызантальных трубках пераменнага сячэння.

Прылады і абсталяванне:

Вертыкальны шклянны цыліндр, аздоблены шкалой з меткамі, напоўнены даследуемай вадкасцю (маслам); свінцовыя шарыкі невялікага дыяметру, тэхнічныя вагі, фільтравальная папера, піпетка, секундамер; прылада з гарызантальных трубках пераменнага сячэння, аздобленая манометрамі, пыласос.

Практыкаванне 1

ВЫЗНАЧЭННЕ КАЭФІЦЫЕНТА ВЯЗКАСЦІ ВАДКАСЦІ МЕТАДАМ СТОКСА

Тэарэтычныя асновы

У рэальных вадкасцях пры руху адных слаёў вадкасці адносна другіх узнікаюць сілы ўнутранага трэння (сілы вязкасці), якія накіраваны ўздоўж судакранальных паверхняў слаёў у бок, супрацьлеглы іх адноснай хуткасці. Гэта значыць, сілы вязкасці, якія дзейнічаюць на два судакранальныя слаі вадкасці, імкнуцца зменшыць хуткасць больш хуткага слоя, і павялічыць хуткасць больш павольнага.

Важнай характарыстыкай руху вязкай вадкасці з'яўляецца велічыня, якая называецца градыентам хуткасці і паказвае, як змяняецца хуткасць вадкасці (газу) ад аднаго слоя да другога. Няхай слой вадкасці, які рухаецца на адлегласці h ад сценкі пасудзіны, мае хуткасць \vec{v} , а слой, які рухаецца на адлегласці $h + dh$, мае хуткасць $\vec{v} + d\vec{v}$. Тады велічыня $\frac{dv}{dh}$, якая роўна

адносіне рознасці хуткасцяў слаёў вадкасці dv да адлегласці dh паміж гэтымі слямі (першая вытворная хуткасці руху па каардынаце), называецца *градыентам хуткасці*.

Ньютан устанавіў, што велічыня сіл вязкасці прапарцыянальна плошчы судакранання слаёў вадкасці і градыенту хуткасці:

$$F = \eta \frac{dv}{dh} S. \quad (1)$$

Каэфіцыент прапарцыянальнасці η (грэчаская літара “эта”) называецца каэфіцыентам вязкасці. Розныя вадкасці маюць розныя каэфіцыенты вязкасці.

З выразу (1) маем, што пры $S=1$ і $\frac{dv}{dh}=1$, $\eta = F$ гэта значыць,

каэфіцыент вязкасці лікава роўны сіле вязкага трэння, якая дзейнічае на адзінку плошчы паверхні слаёў, якія датыкаюцца, пры градыенце хуткасці, роўным адзінцы. Гэтае вызначэнне ўтрымлівае *фізічны сэнс* канстанты – каэфіцыента вязкага (унутранага) трэння.

Размернасць каэфіцыента вязкасці: $[\eta] = ML^{-1}T^{-1}$

Адзінкай вымярэння η у сістэме адзінак СІ з’яўляецца 1 кг/(м·с) або 1 Па·с – гэта каэфіцыент вязкасці такой вадкасці, у якой паміж слямі з плошчай кранання 1 м² пры градыенце скорасці 1 с⁻¹ узнікае сіла вязкасці, роўная 1Н. Каэфіцыент вязкасці η называюць *каэфіцыентам дынамічнай вязкасці*.

Акрамя дынамічнай вязкасці ўжываюцца такія паняцці, як цякучасць і кінематычная вязкасць. *Цякучасцю* называецца велічыня, адваротная дынамічнай вязкасці:

$$\varphi = \frac{1}{\eta}.$$

Кінематычнай вязкасцю χ называецца адносіна дынамічнай вязкасці да шчыльнасці асяроддзя:

$$\chi = \frac{\eta}{\rho}.$$

Пры руху шарыка ў вязкай вадкасці слой вадкасці, які датыкаецца да паверхні шарыка, «прыліпае» да гэтай паверхні і рухаецца са скорасцю шарыка. Бліжэйшыя слаі вадкасці таксама рухаюцца, аднак хуткасць тым меншая, чым далей яны знаходзяцца ад шарыка. Такім чынам, пры вызначэнні супраціўлення асяроддзя трэба разглядаць трэнне паміж асобнымі слаямі, а не «трэнне» шарыка аб вадкасць.

Калі шарык падае ў вадкасці, якая бясконца распасціраецца па ўсіх напрамках, не пакідаючы за сабою ніякіх завіхрэнняў (малы шарык, малая скорасць падзення), то, як паказаў Стокс, сіла супраціўлення роўна:

$$F_c = 6\pi\eta v r, \quad (2)$$

дзе η – каэфіцыент вязкасці вадкасці, r – радыус шарыка. Выраз (2) увасабляе сабой так званы закон Стокса.

Вывад гэтага закону даволі складаны. Аднак формулу для вызначэння сілы супраціўлення з дакладнасцю да пастаяннага множніка можна ўстанавіць з дапамогай метаду размернасцей фізічных велічынь.

Дослед паказвае, што сіла супраціўлення, якая дзейнічае на падаючы ў вязкай вадкасці шарык, будзе тым большай, чым большы каэфіцыент вязкасці η , радыус r і скорасць руху шарыка v . Такім чынам, можна запісаць:

$$F_c = A\eta^\alpha v^\beta r^\gamma \quad (3)$$

дзе A – безразмерны множнік, α , β , γ – паказчыкі ступені, якія патрэбна вызначыць.

Паказчыкі ступеней α , β , γ павінны быць такімі, каб размернасці правай і левай частак формулы (3) супадалі. Калі ў формулу (3) падставіць размернасці сілы, каэфіцыента вязкасці, скорасці і радыуса, атрымаем:

$$MLT^{-2} = M^\alpha L^{-\alpha} T^{-\alpha} L^\beta T^{-\beta} L^\gamma,$$

або

$$MLT^{-2} = M^{\alpha} L^{-\alpha+\beta+\gamma} T^{-\alpha-\beta}. \quad (4)$$

Паказчыкі ступеней у правай і левай частках формулы (4) павінны быць аднолькавымі, гэта значыць можна запісаць сістэму ўраўненняў:

$$\begin{cases} \alpha = 1 \\ -\alpha + \beta + \gamma = 1, \\ -\alpha - \beta = -2 \end{cases} \quad (5)$$

адкуль атрымоўваюцца наступныя значэнні: $\alpha = 1$, $\beta = 1$, $\gamma = 1$.

Такім чынам,

$$F_c = A\eta\upsilon r \quad (6)$$

Множнік A гэтым спосабам вызначыць немагчыма. Ён атрымліваецца роўным 6π пры рашэнні задачы гідрадынамікі вязкай вадкасці.

Тэорыя метаду

На шарык, які падае ў вязкай вадкасці, дзейнічаюць тры сілы: сіла цяжару, сіла Архімеда і сіла Стокса (малюнак 1). Другі закон Ньютана для шарыка запісваецца так:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_c \quad (7)$$

або

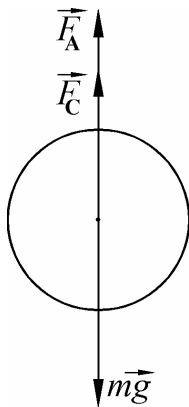
$$m \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g - 6\pi\eta r v, \quad (8)$$

дзе ρ – шчыльнасць рэчыва шарыка, ρ_1 – шчыльнасць вадкасці (масла).

Сіла супраціўлення пры павелічэнні хуткасці шарыка ўзрастае, а паскарэнне памяншаецца і, ўрэшце, шарык набывае такую хуткасць, пры якой паскарэнне становіцца роўным нулю, рух стабілізуецца, а гэта значыць:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho - \rho_1) - 6\pi\eta r v = 0 \quad (9)$$

Далей шарык рухаецца з пастаяннай хуткасцю, такі рух называецца ўстанавіўшымся.



Мал.1. Сілы, якія дзейнічаюць на шарык пры руху ў вадкасці

З ураўнення (9) атрымаем выраз для разліку каэфіцыента вязкасці:

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_1)gr^2}{9v} \quad (10)$$

або

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_1)gd^2}{18v}, \quad (11)$$

дзе d – дыяметр шарыка.

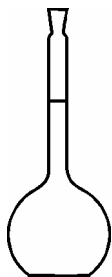
Выраз (11) паказвае, што можна вызначыць каэфіцыент вязкасці, калі вызначыць шчыльнасць вадкасці і рэчыва, з якога зроблены шарык, а таксама дыяметр шарыка і яго хуткасць раўнамернага падзення ў даследуемай вадкасці.

Доследныя прылады

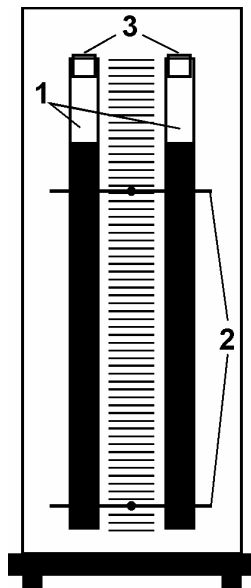
Для вызначэння шчыльнасці матэрыялу шарыкаў і іх дыяметра карыстаюцца пікнометрам (малюнак 2).

Для вызначэння скорасці раўнамернага падзення ў вадкасці карыстаюцца шкляным цыліндрам 1, напоўненым даследуемай вадкасцю – маслам (малюнак 3). На цыліндры маюцца дзве

гарызантальныя меткі 2, корцы з адтулінамі 3. Уся прылада зманціравана на вертыкальным стэндзе.



Мал. 2. Пікнометр



Мал. 3. Прылада для вызначэння скорасці падзення шарыкаў

Парадак выканання работы:

1. З дапамогай пікнометра вызначыце шчыльнасць матэрыялу шарыкаў і іх сярэдні дыяметр:

а) Пікнометр напоўніце дыстыляванай вадой да меткі (малюнак 2) і вызначце з дапамогай тэхнічных вагаў яго масу m_1 .

б) Вызначце з дапамогай тэхнічных вагаў масу шарыкаў m_2 (ад 50 да 100 шарыкаў, колькасць задае выкладчык або лабарант).

в) Апусціце шарыкі ў пікнометр, адбярэце лішак вады фільтравальнай паперай або піпеткай і вызначце масу m_3 пікнометра з шарыкамі.

г) Аб'ём усіх шарыкаў, такім чынам разлічваецца з судачынення:

$$V = \frac{m_1 + m_2 - m_3}{\rho_6}, \quad (12)$$

дзе ρ_6 – шчыльнасць вады.

д) Шчыльнасць матэрыялу шарыкаў тады вызначаецца як:

$$\rho = \frac{m_2}{V} = \frac{m_2 \rho_6}{m_1 + m_2 - m_3} \quad (13)$$

е) З улікам (12) аб'ём аднаго шарыка вызначыцца як:

$$V_1 = \frac{V}{N} = \frac{m_1 + m_2 - m_3}{\rho_6 N}, \quad (14)$$

дзе N – колькасць шарыкаў, аб'ём аднаго шарыка

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi d^3, \text{ адкуль дыяметр аднаго шарыка:}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{6(m_1 + m_2 - m_3)}{\pi \rho_6 N}}. \quad (15)$$

2. Вызначце скорасць руху шарыкаў у вязкай вадкасці (масле):

а) Вызначце з дапамогай лінейкі адлегласць паміж меткамі.

б) Апусціце асцярожна шарыкі на паверхню вадкасці як мага бліжэй да восі цыліндра (маюцца спецыяльныя адтуліны ў белых корпусах) і вызначце час праходжання шарыкам адлегласці паміж меткамі.

Калі шарык рухаецца з пастаяннай скорасцю, то яе значэнне вызначаецца выразам:

$$v = \frac{l}{t} \quad (16)$$

дзе l – адлегласць паміж меткамі, t – час, за які пройдзена гэта адлегласць.

3. Вызначце каэфіцыент вязкасці вадкасці па выразе (11), выкарыстаўшы дадзеныя папярэдніх вымярэнняў шчыльнасці шарыкаў, іх дыяметру, скорасці раўнамернага падзення. Шчыльнасць вадкасці (масла) лічыце роўнай $\rho_1 = 960 \text{ кг/м}^3$.

4. Ацаніце хібнасці вымярэнняў. Зрабіце выснову.

Практыкаванне 2

ВЫЗНАЧЭННЕ ДЫНАМІЧНАГА ЦІСКУ І СКОРАСЦІ РУХУ ПАВЕТРА Ў ГАРЫЗАНТАЛЬНЫХ ТРУБКАХ

Тэарэтычныя асновы

Пры вывучэнні дынамікі цякучых асяроддзяў часта карыстаюцца мадэллю ідэальнай (нявязкай) і несціскальнай вадкасці. Апісаць рух вадкасці можна наступным чынам: 1) прасачыць за траекторыяй і скорасцю руху кожнай часцінкі вадкасці (метада Лагранжа) і 2) паказаць напрамак і велічыню хуткасцей \vec{v} часцінак вадкасці ва ўсіх пунктах прасторы, дзе цячэ вадкасць, гэта значыць задаць поле хуткасцей (метада Эйлера).

Калі поле скарасцей \vec{v} не змяняецца з цягам часу, гэта значыць скорасць \vec{v} руху розных часцінак вадкасці ў кожным пункце кожнага сячэння патоку пастаянная па велічыні і напрамку, то цячэнне называецца *стацыянарным або ўстойлівым*. Калі поле скарасцей змяняецца з цягам часу, то цячэнне называюць *нестацыянарным*. Пры стацыянарным цячэнні кожная часцінка вадкасці праходзіць дадзены пункт прасторы з адной і той жа хуткасцю \vec{v} . Для нагляднай характарыстыкі патоку вадкасці ўводзяць паняцце ліній плыні. Пад *лініямі плыні* разумеюць лініі, праведзеныя ў вадкасці, датычныя да якіх у кожным пункце супадаюць з напрамкам хуткасці \vec{v} часцінак, якія праходзяць праз пункт дотыку. Пры стацыянарным цячэнні лініі плыні не змяняюцца з цягам часу і супадаюць з траекторыямі руху часцінак вадкасці. Лініі плыні не могуць перасякацца, таму што ў адным і тым жа пункце ў дадзены момант часу знаходзіцца толькі адна часцінка вадкасці з дадзенай хуткасцю \vec{v} . Калі дамаўляцца праводзіць праз адзінкавую пляцоўку, перпендыкулярную да хуткасці \vec{v} , колькасць ліній плыні, прапарцыянальную скорасці часцінак у дадзеным пункце, то ў гэтым выпадку па густасце і напрамку ліній можна меркаваць пра напрамак і велічыню хуткасці \vec{v} у розных пунктах патоку. Частка вадкасці, абмежаваная лініямі плыні, называецца *трубкай плыні*. Пад *струменем (плынню)* разумеюць частку патоку вадкасці, якая знаходзіцца ўнутры трубкай плыні.

Умоўна выдзелім у патоку струмень вадкасці з невялікім папярочным сячэннем S . Праз пункты контуру гэтага сячэння правядзем лінію плыні. Пры стацыянарным цячэнні трубка плыні не змяняецца з цягам часу. Пры цячэнні вадкасці яе часцінкі не могуць перасякаць бакавую паверхню трубка плыні, таму што хуткасці часцінак у гэтай паверхні накіраваны па датычнай да яе. Такім чынам, трубка плыні падобная да цвёрдай непранікальнай трубка, уздоўж якой цячэ вадкасць.

Возьмем трубку плыні з такой малой плошчай сячэння S , што хуткасць вадкасці \vec{v} можна лічыць аднолькавай ва ўсіх пунктах гэтага папярочнага сячэння. Пры стацыянарным цячэнні за прамежак часу dt праз розныя сячэнні трубка пройдзе аднолькавая маса dm вадкасці, роўная $\rho v S dt$, дзе ρ – шчыльнасць вадкасці.

Для двух сячэнняў з плошчамі S_1 і S_2 атрымаем роўнасць:

$$\rho_1 v_1 S_1 dt = \rho_2 v_2 S_2 dt ,$$

або пасля скарачэння на dt :

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 \quad (17)$$

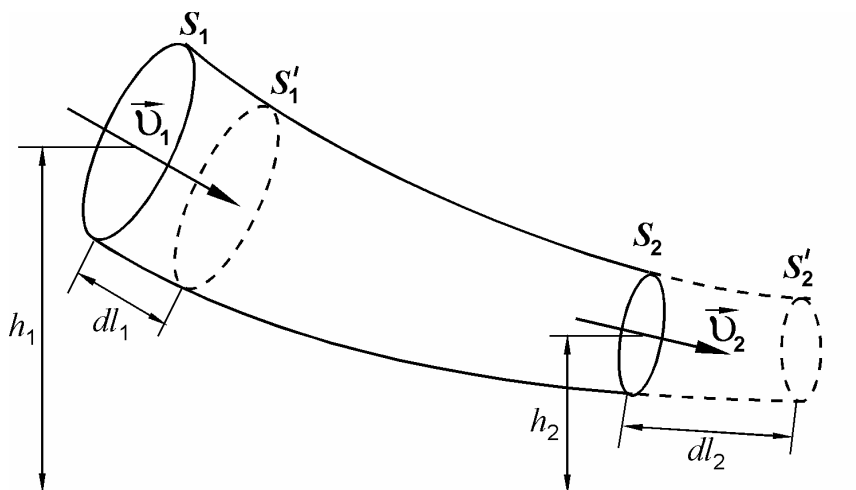
Калі шчыльнасць вадкасці аднолькавая ва ўсіх сячэннях трубка току (вадкасць не сціскальная), гэта значыць $\rho_1 = \rho_2$, то:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (18)$$

Атрыманая суадносіна называецца *ўраўненнем непарыўнасці струменя*.

Умоўна выдзелім у трубки плыні аб'ём вадкасці (малюнак 4), абмежаваны сячэннямі S_1 і S_2 . Няхай за час dt гэты аб'ём перамясціўся ўздоўж трубка і заняў становішча, абмежаванае сячэннямі S'_1 і S'_2 . Аб'ём вадкасці, абмежаваны сячэннямі S'_1 і S'_2 не змяніў свайго становішча, значыць, энергія гэтага аб'ёму не змянілася. Змянілася толькі энергія аб'ёмаў, абмежаваных сячэннямі S_1 і S'_1 і S_2 і S'_2 . Гэта змяненне энергіі адбывалася за кошт работы знешніх сіл. Паколькі сілы ціску на бакавую паверхню трубка плыні не выконваюць работу (яны перпендыкулярныя да

хуткасці \vec{v}), то сума работ знешніх непатэнцыяльных сіл будзе роўна рабоце сіл ціску ў сячэннях трубка S_1 і S_2 пры іх перамяшчэнні на адлегласці $dl_1 = v_1 dt$ і $dl_2 = v_2 dt$.



Мал. 4. Да вываду ўраўнення Бернулі

Работа знешняй сілы па пракачцы вадкасці праз сячэнне S_1 роўна:

$$\delta A_1 = F_1 dl_1 = \rho_1 S_1 v_1 dt \quad (19)$$

а праз сячэнне S_2 роўна:

$$\delta A_2 = -F_2 dl_2 = -\rho_2 S_2 v_2 dt \quad (20)$$

Гэта значыць, што сумарная работа вызначыцца выразам:

$$\delta A = \delta A_1 + \delta A_2 = \rho_1 S_1 v_1 dt - \rho_2 S_2 v_2 dt \quad (21)$$

Па закону пераўтварэння і захавання механічнай энергіі змяненне поўнай механічнай энергіі выдзеленага аб'ёму вадкасці пры пераходзе са становішча $S_1 S_2$ у становішча $S'_1 S'_2$ роўна рабоце знешніх сіл:

$$E_2 - E_1 = \delta A \quad (22)$$

Аб'ёмы вадкасці, абмежаваныя сячэннямі S_1 , S'_1 і S_2 , S'_2 , маюць кінетычную і патэнцыяльную энергію, таму выраз (22) з улікам (21) можна запісаць у выглядзе:

$$\frac{dm_2 v_2^2}{2} + dm_2 gh_2 - \frac{dm_1 v_1^2}{2} + dm_1 gh_1 = \rho_1 S_1 v_1 dt - \rho_2 S_2 v_2 dt \quad (23)$$

Калі шчыльнасць вадкасці ў розных пунктах асяроддзя аднолькавая ($\rho_1 = \rho_2 = \rho$), то:

$$dm_1 = \rho v_1 S_1 dt \text{ і } dm_2 = \rho v_2 S_2 dt \quad (24)$$

З улікам ураўнення непарыўнасці (18) і суадносін (24) з ураўнення (23) атрымаем выраз:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2. \quad (25)$$

Сячэнні S_1 і S_2 выбраны цалкам адвольна, таму суадносіна (25) будзе справядлівай для любога сячэння трубка плыні. Гэтая суадносіна была атрымана *Д. Бернулі* ў 1738 годзе і называецца ўраўненнем *Бернулі*:

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const} \quad (26)$$

У гэтым ураўненні кожнае складаемае мае размернасць ціску: p – статычны ціск (ён вызначае ціск унутры вадкасці), ρgh – гідраўлічны (гідрастатычны, вагавы) ціск (ён уяўляе сабой патэнцыяльную энергію адзінкі аб'ёму вадкасці ў гравітацыйным полі), $\frac{\rho v^2}{2}$ – дынамічны ціск (ён уяўляе сабой кінетычную энергію адзінкі аб'ёму вадкасці). Для гарызантальных трубак велічыня h – пастаянная, таму ўраўненне Бернулі для двух розных сячэнняў S_1 і S_2 можна запісаць у выглядзе:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} = P \quad (27)$$

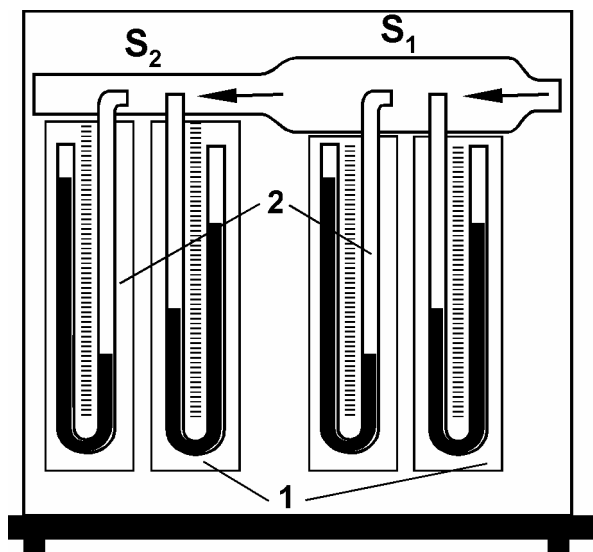
дзе P – поўны ціск. Значыць, поўны ціск, або сума статычнага і дынамічнага ціскаў у гарызантальнай трубе заўсёды застаецца велічынёй пастаяннай.

Ураўненне (27) паказвае, што ў звужаных месцах, дзе хуткасць вадкасці або газу ўзрастае, статычны ціск памяншаецца, і наадварот.

Доследная прылада

Даследаванне статычнага, дынамічнага і поўнага ціску, а таксама хуткасці газу праводзіцца пры дапамозе прылады, адлюстраванай на малюнку 5. Яна складаецца са шкляной трубкай пераменнага сячэння S_1 і S_2 . У кожнае сячэнне ўстаўлены манаметрычныя трубка, адны канцы якіх злучаны з манометрамі, а другія знаходзяцца ў патоках газу.

Плоскасць адтулін трубак 1 размешчана паралельна лініям плыні, а трубак 2 – насустрач патоку газу. Манометры, якія злучаны з трубкам 1, вымяраюць у сячэннях S_1 і S_2 адпаведна статычныя ціскі p_1 і p_2 . Газ, пападаючы ў трубку 2, спыняецца. Манометры, злучаныя з трубкам 2, вымяраюць поўныя ціскі P'_1 і P'_2 .



Мал. 5. Знешні выгляд прылады па вывучэнні руху паветра ў гарызантальных трубках

Тэорыя метаду

Дынамічны ціск у сячэннях S_1 і S_2 адпаведна роўны:

$$\begin{cases} \frac{\rho v_1^2}{2} = P'_1 - p_1, \\ \frac{\rho v_2^2}{2} = P'_2 - p_2. \end{cases} \quad (28)$$

Хуткасць руху вадкасці або газу ў сячэннях S_1 і S_2 можна вызначыць па формулах:

$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{\frac{2(P'_1 - p_1)}{\rho}}, \\ v_2 = \sqrt{\frac{2(P'_2 - p_2)}{\rho}}. \end{cases} \quad (29)$$

Трэба адзначыць, што адлік па манометру атрымоўваецца ў адзінках даўжыні. Каб перайсці да адзінак вымярэння ціску, патрэбна выкарыстаць вядомае судачыненне:

$$P = \rho_g g \Delta h, \quad (30)$$

дзе ρ_g – шчыльнасць манаметрычнай вадкасці, g – паскарэнне свабоднага падзення, Δh – рознасць узроўняў слупоў вадкасці ў манометры.

У рабоце праз трубку з пераменным сячэннем прапускаюць паток паветра, які нагнятаецца пыласосам. Скорасць паветра можа быць вызначана па формулах (29), у якіх $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – гэта шчыльнасць паветра.

Парадак выканання работы:

1. Прыкладзіце трубку пыласоса да выхадной адтуліны трубка з пераменным сячэннем. Уключыце пыласос і вымерайце рознасць узроўняў манаметрычнай вадкасці ў манаметрычных трубках.
2. Вызначце статычныя ціскі p_1 і p_2 у сячэннях S_1 і S_2 , выкарыстаўшы судачыненне (30).

3. Вызначце поўныя ціскі P'_1 і P'_2 у сячэннях S_1 і S_2 , выкарыстаўшы судачыненне (30).
4. Вызначце дынамічныя ціскі у сячэннях S_1 і S_2 па (28).
5. Вызначце хуткасць паветра ў сячэннях S_1 і S_2 па (29).
6. Ацаніце хібнасць вымярэнняў. Зрабіце высновы.

Пытанні для самакантролю:

1. Акрэсліце адрозненні рэальных вадкасцей ад ідэальных.
2. Вызначце фізічны сэнс каэфіцыента вязкасці.
3. Раслумачце паняцце градыента скорасці.
4. Якое цячэнне называюць ламінарным і турбулентным?
5. Растлумачце механізм узнікнення супраціўлення ціску пры руху цела ў вязкай вадкасці. Лік Рэйнальдса.
6. Акрэсліце паняцці лінія плыні, трубка плыні, стацыянарны паток.
7. Выведзіце ўраўненне непарыўнасці струменя і ўраўненне Бернулі. Які фізічны сэнс утрымліваецца ва ўраўненні Бернулі?
8. Абцяканне целаў вадкасцю і газам. Лабавае супраціўленне, пад'ёмная сіла крыла.