

значеннями величини об'ємного всихання (β_v) та величини точки насичення вологою деревинних клітин (W_{TH}) можна точніше визначити коефіцієнт об'ємного заповнення штабелів пиломатеріалів (заготовок), що завантажуються в сушильні камери, тобто уточнити їх облік, а відповідно уточнити облік витрат теплової та електричної енергії в процесах нагрівання і сушіння, які віднесено до одиниці об'єму пиломатеріалу. Коефіцієнт варіації результатів експериментальних досліджень коливався в межах $V=2...16\%$, що є характерним для деревини різних порід. Коефіцієнт точності не перевищував $4,5\%$.

Література

1. Билей П.В. Сушка древесины твердых и лиственных пород / П.В. Билей. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд-во "Экология", 2002. – 224 с.
2. Вінтонів І.С. Деревинознавство: навч. посібн. / І.С. Вінтонів, І.М. Сопушинський, А. Тайшінгер. – Львів: Вид-во "Апріорі", 2007. – 312 с.

Билей П.В., Комбаров А.М., Билей П.П. Исследования физических свойств древесины дуба

Проведены экспериментальные исследования таких физических свойств древесины дуба: количество годовых колец в 1 см; начальная влажность древесины; плотность древесины для начальной влажности, в абсолютно сухом состоянии и условном; величина усушки древесины – объемное, в тангентальном и радиальном направлении относительно волокон.

Ключевые слова: плотность, объемная масса, влажность, усушка, точка насыщения волокон, древесина, дуб черешчатый, физические свойства.

Biley P.V., Kombarov A.M., Biley P.P. The study of physical properties of the wood of oak

Conducted here are experimental investigations of the following physical properties of the wood of oak: the number of annual rings per cm.; initial moisture content of the wood; wood density for the initial moisture content, in oven – dry arbitrarily dry states; the amount of wood shrinkage – volumetric, in spiral and diagonal grains.

Keywords: density, volumetric mass, moisture, shrinkage, saturation point fiber, wood, oak, physical properties.

УДК 66.021 Проф. В.М. Атаманюк, д-р техн. наук; аспір. Р.В. Ходорівський; студ. М.М. Басістий – НУ "Львівська політехніка"

ГІДРОДИНАМІКА СТАЦІОНАРНОГО ШАРУ ГРАНУЛЬОВАНОГО КРУПНОПОРИСТОГО СИЛІКАГЕЛЮ

Наведено результати експериментальних і теоретичних досліджень гідродинаміки руху повітря крізь шар гранульованого силікагелю. Отримані критеріальні залежності дають змогу прогнозувати енергетичні затрати на процес десорбції, тобто визначити економічну доцільність застосування процесу, що є дуже важливим на стадії проектування апаратів зі стаціонарним шаром адсорбенту.

Ключові слова: гідродинаміка, дисперсний матеріал, стаціонарний шар, адсорбція, силікагель.

Постановка проблеми. Адсорбційні процеси широко застосовують у хімічній промисловості з метою отримання високочистих речовин або виділення цільового продукту. Процес адсорбції реалізують в установках кипля-

чого або стаціонарного шару адсорбенту. Найпоширенішими у хімічній промисловості є апарати зі стаціонарним шаром адсорбенту, які працюють по чергово, тому що цей тип адсорберів дає змогу продовжити термін експлуатації адсорбенту порівняно з апаратами киплячого шару, у яких частинки адсорбенту внаслідок співударяння між собою та зі стінками апарату швидко стираються з утворенням дрібнодисперсної фракції, яку необхідно вловлювати. Зазначене також стосується і процесів десорбції, затрати на які можуть бути значно вищими, ніж на процес адсорбції. Тому дослідження гідродинаміки фільтрування газового потоку крізь стаціонарний шар адсорбенту під час сорбції та десорбції є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженням гідравлічного опору стаціонарного шару дисперсного матеріалу присвячено багато робіт [1-7]. Автори на основі експериментальних досліджень втрат тиску [1-9] представляють розрахункову залежність Дарсі-Вейсбаха у вигляді модифікованого двочленного рівняння Ергана, визначаючи при цьому невідомі коефіцієнти "А" і "В". Однак отримані авторами результати стосуються виключно досліджуваних матеріалів, і не враховують впливу режиму руху газового потоку та геометричних параметрів апарату на втрати тиску, тому не можуть бути використані для інших матеріалів та апаратів, які мають інші геометричні розміри. У роботах [10-12] експериментальні дослідження представляють у безрозмірному вигляді $Eu = A \cdot Re^{-x} \cdot (H_e/d_e)^y$. Ці розрахункові залежності є більш універсальними і їх можна застосовувати у випадку подібності гідродинамічних характеристик процесу і геометричних симплексів. Але, як свідчать дослідження авторів [13, 14], використання цих залежностей без проведення додаткових експериментальних досліджень призводять до значних похибок під час розрахунку втрат тиску і їх використання можливе лише для приблизного розрахунку. Відомо, що універсальних розрахункових залежностей, які б повною мірою враховували, вплив форм частинок і шорсткості їх поверхні на структуру шару дисперсного матеріалу, і відповідно, енергетичних затрати на процес, на цей час не існує.

Мета досліджень. Метою цієї роботи є дослідження гідравлічного опору стаціонарного шару силікагелю та представлення результатів експериментальних досліджень у безрозмірній формі, зручній для використання в інженерній практиці для проектування нового адсорбційного обладнання.

Силікагель є одним з найбільш поширених адсорбентів, що широко застосовується в промисловості. Він є продуктом зневоднення гелю кремнієвої кислоти, який отримують шляхом оброблення розчину силікату натрію мінеральними кислотами або кислотними розчинами їх солей. Розмір гранул знаходиться в межах від 0,2 до 7 мм, насипна густина залежно від марки силікагелю і гранулометричного складу є в межах 100-800 кг/м³. Питома поверхня частинок силікагелю становить 400-500 м²/г. Зовнішній вигляд досліджуваного силікагелю – це прозорі скловидні зерна неправильної форми.

Для визначення усередненого діаметра частинок гранульованого крупнопористого силікагелю марки КСКГ (ГОСТ 3956-76) його просіювали

за допомогою стандартних сит, розділяли на окремі фракції і розраховували за залежністю [15]

$$\frac{1}{d_q} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{d_i}, \quad (1)$$

де X_i – масова частка фракції з розміром частинок d_i .

Гранулометричний склад силікагелю зображено на рис. 1, інші характеристики наведено у табл. Коефіцієнт форми частинок силікагелю "Ф" і коефіцієнт взаємного екранування поверхні частинок " K_n ", яка омивається газовим потоком приймали відповідно до рекомендацій [15].

Табл. Основні характеристики силікагелю марки КСКГ

$d_q \cdot 10^3, \text{ м}$	$\rho_{\text{нас.}}, \text{ кг/м}^3$	$\varepsilon, \text{ м}^3/\text{м}^3$	$\varepsilon_{\text{ш}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$	$a, \text{ м}^2/\text{м}^3$	Ф	K_n
4,67	510	0,768	0,36	963,6	0,8	0,85

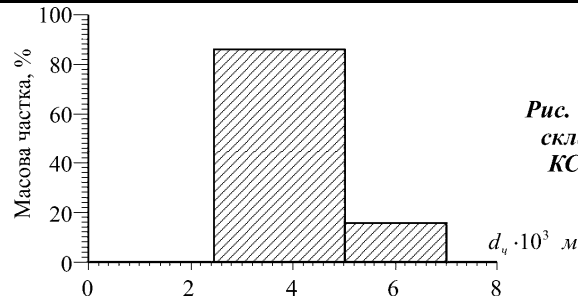


Рис. 1. Гранулометричний склад силікагелю марки КСКГ (ГОСТ 3956-76)

Рис. 1. Гранулометричний склад силікагелю марки КСКГ (ГОСТ 3956-76)

Значення питомої поверхні шару, яка омивається потоком повітря розраховували за залежністю [7]

$$a = a_0 \cdot (1 - \varepsilon_{\text{ш}}) \cdot K_n, \quad (2)$$

де: a_0 – питома поверхня однієї частинки; $\varepsilon_{\text{ш}}$ – порізність шару.

Дослідження втрат тиску в стаціонарному шарі силікагелю проводили на установці та згідно з методикою, описаною у роботі [12]. Результати експериментальних досліджень втрат тиску як функції фіктивної швидкості для силікагелю наведено на рис. 2.

Для визначення втрат тиску в стаціонарному шарі дисперсного матеріалу використовують залежність Дарсі-Вейсбаха. Невідомою величиною у цій залежності є коефіцієнт гідралічного опору стаціонарного шару, який необхідно визначити експериментально. Відомо, що коефіцієнт гідралічного опору шару λ представляють як функцію числа Рейнольдса $\lambda = f(\text{Re})$ у вигляді

$$\lambda = \frac{A}{\text{Re}} + B, \quad (3)$$

де A і B коефіцієнти, які визначають експериментально. Для знаходження невідомих коефіцієнтів A і B залежність Дарсі-Вейсбаха приводять до модифікованого рівняння Ергана [12] і представляють у вигляді:

$$\frac{\Delta P}{H_e \cdot v_0} = A \cdot \frac{9 \cdot \mu}{8 \cdot d_q^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_{\text{ш}})^2}{\varepsilon_{\text{ш}}^3} + B \cdot \frac{3 \cdot \rho}{4} \cdot \frac{1 - \varepsilon_{\text{ш}}}{d_q \cdot \varepsilon_{\text{ш}}^3} \cdot v_0, \quad (4)$$

позначимо $A^* = A \cdot \frac{9 \cdot \mu}{8 \cdot d_q^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_{\text{ш}})^2}{\varepsilon_{\text{ш}}^3}$ і $B^* = B \cdot \frac{3 \cdot \rho}{4} \cdot \frac{1 - \varepsilon_{\text{ш}}}{d_q \cdot \varepsilon_{\text{ш}}^3}$; тоді залежність (4) можна представити у вигляді

$$\frac{\Delta P}{H_e \cdot v_0} = A^* + B^* \cdot v_0, \quad (5)$$

де: μ – коефіцієнт динамічної в'язкості газового потоку; ρ – густина газового потоку; a – питома поверхня шару дисперсного матеріалу, який омивається газовим потоком; H – висота шару досліджуваного матеріалу; v_0 – фіктивна швидкість фільтрування газу.

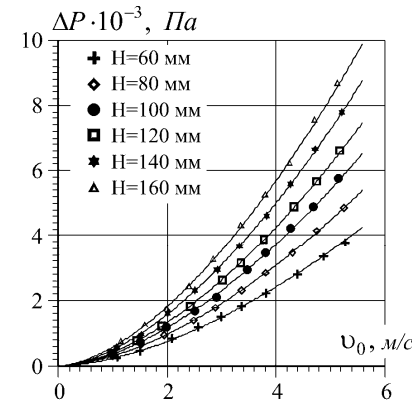


Рис. 2. Залежність втрат тиску в стаціонарному шарі силікагелю від фіктивної швидкості

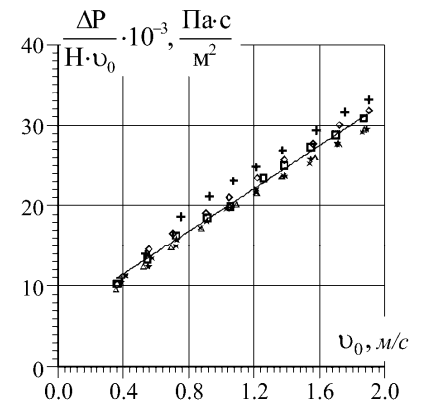


Рис. 3. Залежність $\Delta P/(H \cdot v_0)$ від фіктивної швидкості

Щоби визначити невідомі коефіцієнти " A^* " і " B^* ", експериментальні значення представляють у вигляді графічної залежності $\Delta P/(H \cdot v_0) = f(v_0)$ (рис. 3). Як видно із рис. 3, експериментальні дані можна апроксимувати прямою лінією і за відрізком, який відтинає лінія на осі ординат, визначаємо коефіцієнт A^* , а за тангенсом кута нахилу прямої до осі абсцис – коефіцієнт B^* . Тоді залежність (4) можна представити у вигляді

$$\frac{\Delta P}{H_e \cdot v_0} = 13325 + 6200 \cdot v_0. \quad (6)$$

Отримана залежність (6) дає змогу прогнозувати втрати тиску в стаціонарному шарі силікагелю з достатньою для проектних розрахунків точністю. Однак для широкого її застосування на практиці узагальнення експериментальних даних необхідно провести на основі безрозмірних комплексів.

Із залежності (5) визначаємо невідомі коефіцієнти A і B , тоді коефіцієнт гідралічного опору λ можна представити у вигляді:

$$\lambda = \frac{200}{Re^{0.8}} + 3. \quad (7)$$

На рис. 4 експериментальні дані представлено у безрозмірній формі, у вигляді залежності критерію Ейлера від критерію Рейнольдса. Така форма представлення експериментальних результатів дає змогу, користуючись теорією подібності, визначати масштабні коефіцієнти у випадку проектування промислового обладнання.

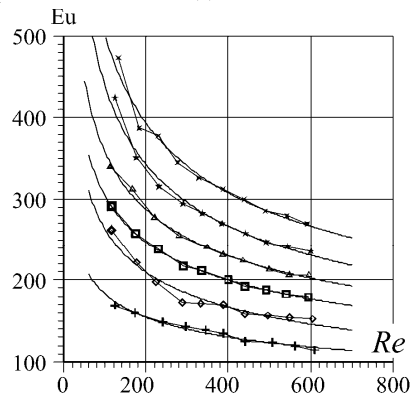


Рис. 4. Залежність числа Ейлера від числа Рейнольдса (позначення відповідають рис. 2)

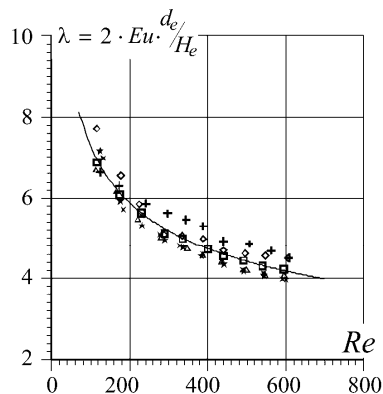


Рис. 5. Залежність коефіцієнту гідравлічного тертя від числа Рейнольдса

Із графічної залежності рис. 5 визначаємо:

$$\lambda = 29 \cdot Re^{-0.3}. \quad (8)$$

Отримані залежності узгоджуються із експериментальними значеннями, а максимальна відносна похибка становить не більше 10 %, що є цілком прийнятним для проектних розрахунків технологічного обладнання.

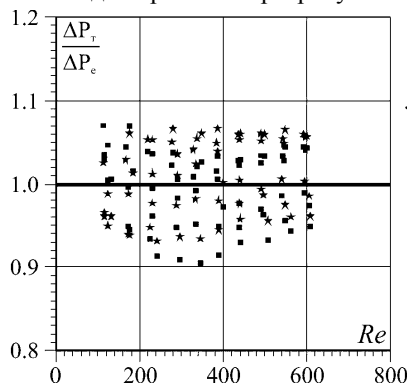


Рис. 6. Кореляційна залежність між теоретично розрахованими та експериментальними даними

■ – $\lambda = \frac{200}{Re^{0.8}} + 3$;
★ – $\lambda = 29 \cdot Re^{-0.3}$

Висновок. Визначено коефіцієнт гідравлічного опору стаціонарного шару силікагелю та отримано розрахункові залежності у безрозмірній формі, що дають змогу прогнозувати енергетичні затрати на створення перепаду

тисків у стаціонарному шарі силікагелю і на етапі проектування процесу адсорбції прогнозувати економічну доцільність проекту.

Література

1. Ханьк Я.Н. Гидродинамическое сопротивление плоских газопроницаемых материалов / Я.Н. Ханьк, В.И. Топчий, М.П. Стрепо // Прикладная химия. – 1991. – № 1. – С. 107-110.
2. Ханьк Я.М. Вплив структури на гідродинаміку при русі повітря через газопроникні об'єкти / Я.М. Ханьк, М.П. Стрепо, Р. Реза // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Хімія, технологія речовин і їх застосування. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 1993. – С. 17-18.
3. Гідродинаміка процесу фільтраційного сушіння матеріалів, для яких властиве явище сідання / Я.М. Ханьк, Я.М. Гумницький, В.М. Атаманюк, П.В. Білей // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Сер.: Проблеми деревообробного виробництва. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 1994. – Вип. 2. – С. 29-39.
4. Ханьк Я.М. Гідродинаміка фільтраційного процесу сушіння піску / Я.М. Ханьк, Аль-Ашкар Ясер // Хімічна промисловість України. – 1996. – № 6. – С. 33-37.
5. Ханьк Я.М. Гідродинаміка фільтраційного сушіння поліакриламід / Я.М. Ханьк, В.П. Дулеба, В.М. Атаманюк // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Хімія, технологія речовин і їх застосування. – Львів : Вид-во ДУ "Львівська політехніка". – 1997. – № 316. – С. 147-149.
6. Кіндзера Д.П. Зернистий матеріал. Гідродинаміка полідисперсного шару / Д.П. Кіндзера, Я.М. Ханьк, В.М. Атаманюк // Хімічна промисловість України. – 2002. – № 6. – С. 38-42.
7. Ханьк Я.М. Особливості гідродинаміки та кінетика сушіння біологічно активних пастоподібних матеріалів / Я.М. Ханьк, О.В. Станіславчук, В.П. Дулеба, Л.З. Білецька // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Хімія, технологія речовин і їх застосування. – Львів : Вид-во ДУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 461. – С. 230-234.
8. Ханьк Я.М. Особливості гідродинаміки шару вологої метатитанової кислоти / Я.М. Ханьк, О.В. Станіславчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – № 1, ч. 1. – С. 149-152.
9. Тимо І.Я. Гідродинаміка та кінетика сушіння дисперсних матеріалів неправильної форми у щільному шарі / І.Я. Тимо, Я.М. Ханьк, Я.Д. Ярош // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Хімія, технологія речовин і їх застосування. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 609. – С. 281-284.
10. Атаманюк В.М. Гідродинаміка фільтраційного сушіння дисперсного матеріалу / В.М. Атаманюк // Промислова гідраліка і пневматика : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 2006. – № 1 (11). – С. 12-17.
11. Атаманюк В.М. Гідродинаміка стаціонарного шару технічного вуглецю / В.М. Атаманюк, Я.М. Гумницький // Восточно-Европейский журнал передовых технологий : научно-произв. журнал. – Харків. – 2009. – № 5/5 (41). – С. 29-34.
12. Атаманюк В.М. Гідралічні закономірності роботи апаратів зі стаціонарним шаром дисперсного матеріалу / В.М. Атаманюк, Р.В. Ходорівський, І.Р. Барна // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Хімія, технологія речовин і їх застосування. – Львів : Вид-во ДУ "Львівська політехніка". – 2010. – № 667. – С. 257-261.
13. Ханьк Я.М. Гідродинаміка фільтраційного сушіння поліаміду-6 / Я.М. Ханьк, О.І. Мількович // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса. – 2008. – Вип. 32. – С. 60-62.
14. Протодяконов И.О. Гидромеханические основы процессов химической технологии / И.О. Протодяконов, Ю.Г. Чесноков. – Л. : Изд-во "Химия", 1987. – 360 с.
15. Аэров М.Э. Аппараты со стационарным зернистым флюидом / М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Д.А. Наринский. – Л. : Изд-во "Химия", 1979. – 176 с.

Атаманюк В.М., Ходоривський Р.В., Басистий М.М. Гідродинаміка стаціонарного слоя гранулированного крупнопористого силикагеля

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований гидродинамики движения воздуха сквозь слой гранулированного силикагеля. Полученные критериальные зависимости позволяют прогнозировать энергетические затраты

на процесс десорбции и определить экономическую целесообразность применения процесса, что очень важно на стадии проектирования аппаратов со стационарным слоем адсорбента.

Ключевые слова: гидродинамика, дисперсный материал, стационарный слой, адсорбент, силикагель.

Atamanyuk V.M., Hodorivskyy R.V., Basistyy M.M. Hydrodynamic in a stationary layer of granular large-porous silicagel

This article presents the results of experimental and theoretical investigations of hydrodynamics of air movement through the granular layer of silica gel. The obtained criterion depends allow you to predict energy costs desorption process, and to determine the economic feasibility of the application process is very important to design apparatus with a stationary layer of adsorbent.

Keywords: hydrodynamics, dispersed material, stationary layer, adsorption, silico-gel.

УДК 614.843(075.32)

Проф. П.М. Гащук, д-р техн. наук;
ад'юнкт І.В. Паснак – Львівський ДУ БЖД

**ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
ПОЖЕЖНИХ СТВОЛІВ ПІСТОЛЕТНОГО ТИПУ**

Проаналізовано сучасний стан виробництва та обґрунтовано доцільність застосування пожежних стволів пістолетного типу. Розглянувши баланс сил на пожежних стволах, встановлено, що за умов роботи з високими напорами пожежні стволи пістолетного типу мають перевагу над прямими стволами, оскільки їх використання дає змогу полегшити роботу операторів під час гасіння пожеж.

Ключові слова: пожежний ствол, ствол пістолетного типу, баланс сил, ефективність.

Постановка проблеми. Зростаючі вимоги до підвищення ефективності пожежогасіння спонукають до пошуку та розроблення все нових методів та технічних рішень для забезпечення подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі. Сьогодні все частіше виробники протипожежної техніки акцентують свою увагу на виробництві універсальних та комбінованих пожежних стволів, які б могли працювати за високих напорів. З цієї метою розробляють так звані пожежні стволи пістолетного типу. Зокрема, автор цього дослідження розробив та запатентував технічні рішення [1, 2]. Однак на сьогодні мало уваги приділяють питанню обґрунтування доцільності застосування пожежних стволів пістолетного типу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливим параметром для ручних пожежних стволів є реакція струменя – сила, що виникає під час витікання рідини з насадки ствола. Питання обґрунтування доцільності застосування пожежних стволів пістолетного типу частково розглядалось в роботі [3]. Тут стверджується, що сила реакції струменя для вказаного типу стволів поділяється на кілька складових та спрямована вгору, що значно спрощує роботу ствольників (операторів) під час гасіння пожеж. Однак наукового підтвердження цьому твердженню не наводять.

Мета роботи. Науково обґрунтувати доцільність застосування пожежних стволів пістолетного типу для спрощення роботи операторів під час гасіння пожеж.

Виклад основного матеріалу. Укладімо для виділеної площинами 0-0 та 1-1 (рис. 1) частини потоку рідини рівняння зміни кількості руху (імпульсу сил) у проекціях на координатні осі Ox та Oy :

$$\rho Q(v_0 \cos \theta_0 - v_1 \cos \theta_1) dt = R_x dt, \quad \rho Q(v_0 \sin \theta_0 - v_1 \sin \theta_1) dt = R_y dt,$$

де: Q – витрата рідини через перерізи 0-0 та 1-1 за одиницю часу, v_0 і v_1 – швидкості потоку у перерізах 0-0 і 1-1 (v_0 і v_1 – модулі цих швидкостей), θ_0 і θ_1 – кути між віссю потоку та горизонталлю в перерізах 0-0 і 1-1, R_x і R_y – модулі проекцій R_x і R_y на осі координат Ox і Oy сили реакції $R = -P$, що діють на потік рідини з боку системи "рукав – ствол", P – сила, з якою потік діє на систему "рукав – ствол" ($R_x = -P_x$ і $R_y = -P_y$; $R_x = -P_x$ і $R_y = -P_y$), t – час; площини 0-0 та 1-1 ортогональні до осі потоку. На підставі цих рівнянь можна писати, що

$$\rho Q(v_1 \cos \theta_1 - v_0 \cos \theta_0) = P_x, \quad \rho Q(v_1 \sin \theta_1 - v_0 \sin \theta_0) = P_y,$$

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = \rho Q \sqrt{v_1^2 - 2v_1v_0(\cos \theta_1 \cos \theta_0 + \sin \theta_1 \sin \theta_0) + v_0^2}.$$

Зокрема, у разі горизонтальної долівки, коли $\theta_1 = 0$, матимемо:

$$P_x = \rho Q v_0 \left(\frac{v_1}{v_0} - \cos \theta_0 \right), \quad P_y = -\rho Q v_0 \sin \theta_0,$$

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = \rho Q v_0 \sqrt{\left(\frac{v_1}{v_0} \right)^2 - 2 \frac{v_1}{v_0} \cos \theta_0 + 1}. \quad (1)$$

При цьому орієнтацію вектора $\mathbf{P}$ на площині визначає кут α , що задовольняє умову

$$\tan \alpha = \frac{P_y}{P_x} = \frac{-\sin \theta_0}{\frac{v_1}{v_0} - \cos \theta_0} > \tan \theta_0.$$

На підставі рівняння зміни моменту кількості руху (момента імпульсу) відносно точки A (рис. 1) можна висувати ще співвідношення

$$M = Ph = \rho Q v_0 h_0, \quad (2)$$

де: M – обертальний момент, h – плече дії сили P відносно точки A , h_0 – віддаль між точкою A та лінією, вздовж якої спрямований вектор швидкості v_0 . Отож (див. (1), (2))

$$h = \frac{\rho Q v_0 h_0}{P} = \frac{h_0}{\sqrt{\left(\frac{v_1}{v_0} \right)^2 - 2 \frac{v_1}{v_0} \cos \theta_0 + 1}} > h_0.$$

Нехтуючи втратами енергії та супровідними ефектами, приймемо

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} v_0, \quad \frac{v_0}{v_1} = \frac{d_1^2}{d_0^2},$$

де: d_0 і d_1 – діаметри живих перерізів в площинах 0-0 і 1-1, ортогональних до осі потоку. Приміром, у разі $d_0 = 13$ мм і $d_1 = 66$ мм матимемо $v_1 / v_0 = 0,04$.