

УДК 648.235

М.Й. БОНДАРЕНКО, І.В. ПЕТКО

Київський національний університет технологій та дизайну

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
БАРАБАНА ПОБУТОВИХ АВТОМАТИЧНИХ ПРАЛЬНИХ МАШИН.**

Розглянуто питання руху рідини в барабані побутової пральної машини. Визначено, що обертовий рух барабана супроводжується виникненням примежового шару прального розчину, швидкість і напрям руху якого наближається до кутової швидкості барабана. Встановлено, що масообмінні процеси в гідросистемі барабанних маши, здійснюються поетапно.

Ключові слова: пральна машина, барабан, пральний розчин, рух рідини.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом досліджень є процес прання в побутовій пральній машині. При вирішенні завдань, що поставлені в цій роботі, використано сучасні методи теоретичних досліджень, які базуються на теоретичній механіці та динаміці машин.

Постановка завдання

Завданням дослідження є визначення характеру руху рідини в процесі прання.

Результати та їх обговорення

Дослідження процесу взаємодії рідини з барабаном проводилися на стенді, в якому моделювали умови обтікання рідиною бічної поверхні барабана (рис. 1).

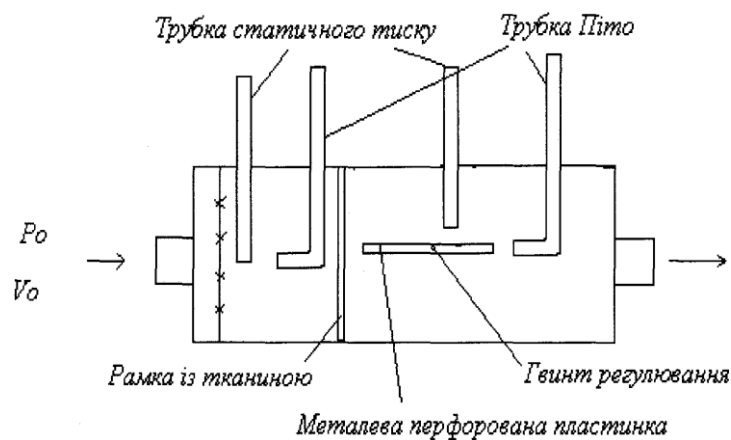


Рис. 1. Схема експериментального приладу для дослідження взаємодії
гідропотоків рідини з різними тілами

Для визначення втрат напору рідини, що проходить крізь отвори перфорації пластинки, її розміщували паралельно вісі затопленого потоку послідовно збільшуючи кут атаки Θ до 50° . Експериментально одержані результати наведено у табл. 1, а зміна напору гідропотоку залежно від його кута атаки поверхні барабана ПМА, результати їх обробки – в табл. 2.

Таблиця 1. Зміна напору гідропотоку залежно від його кута атаки поверхні барабана ПМА
«Вятка-автомат»

$\Theta, ^\circ$	$P_{\text{стат}}$	$P_{\text{внутр}}$	$\Delta h, \text{мм}$	$\Theta, ^\circ$	$P_{\text{стат}}$	$P_{\text{внутр}}$	$\Delta h, \text{мм}$
0	5	10	5	30	5	5	0
	10	20	10		10	10	0
	15	27	12		15	15	0
	20	37	17		20	20	0
	25	45	20		25	25	0
	30	55	25		30	31	1
10	5	10	5	40	5	5	0
	10	13	3		10	13	3
	15	20	5		15	17	2
	20	27	7		20	21	1
	25	30	5		25	26	1
	30	37	7		30	30	0
20	5	5	0	50	5	7	2
	10	13	3		10	11	1
	15	16	1		15	15	0
	20	21	1		20	20	0
	25	25	0		25	25	0
	30	30	0		30	30	0

Примітка: $p_{\text{стат}}$ – зовнішній тиск, $p_{\text{внутр}}$ – внутрішній тиск, Δh – перепад тиску.Таблиця 2. Розрахункові значення Q та V для барабана ПМА «Вятка-автомат»

k_i	Кут атаки, $\Theta, ^\circ$					
	0	10	20	30	40	50
Швидкість потоку, $v, 10^{-3} \text{ м / с}$						
1	6.438	6.438	0	0	0	4,072
2	9.105	4.987	4.987	0	4.987	2.879
3	9.974	6.438	2.879	2.879	4.072	0
4	11.871	7.617	2.879	0	2.879	0
5	12.876	6.438	0	0	2.879	0
6	13.808	7.617	0	2.879	0	0
Витрата рідини, $Q, 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$						
1	0.056	0.056	0	0	0	0.035
2	0.079	0.043	0.043	0	0.043	0.025
3	0.086	0.056	0.025	0.025	0.035	0
4	0.103	0.066	0.025	0	0.025	0
5	0.111	0.056	0	0	0.025	0
6	0.119	0.066	0	0.025	0	0

Примітка: k_i – номер досліджу

Під час визначення гідродинамічних параметрів пластинки виходили з того, що значення коефіцієнта витрат μ для зануреного потоку рідини залежить від характеру його руху і геометричних параметрів каналу.

Оскільки потік рідини вільно витікає у ємкість більшого перетину, ніж перетин затопленого потоку, то припускали, що умови руху рідини в каналі приладу наближені до умов вільного її витоку у відкритий канал [1].

Тому, з поправкою на короткочасність взаємодії елементарної площини барабана з рідиною ($\sim 0,4$ с), $D_e = 0,0465 \text{ м}^2$ за умови довжини каналу, $l = 0,15 \text{ м}$ і динамічної в'язкості рідини при $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\eta = 1,0$ мПа с, значення коефіцієнта витрат μ прийняли 0,65.

З даних таблиці, а також рис. 2 видно, що зміна кута атаки (Θ) потоками рідини перфорованої поверхні барабана пов'язана з процесами, які відбуваються на межі розподілу фаз, а їх характер визначає показники гідравлічних параметрів, які зменшуються за експоненціальною залежністю. Найбільші втрати напору рідини відбуваються в діапазоні значень $0 \leq \Theta \leq 20^\circ$: різке падіння швидкості потоку в області над поверхнею пластинки зумовлено, очевидно, збільшенням її гідравлічного опору.

З подальшим збільшенням кута атаки ($20 \leq \Theta \leq 50^\circ$) швидкість потоків рідини, що обтікають пластинку, уповільнюється і наближається до мінімуму. Незначні коливання величини цих параметрів зумовлено, очевидно, нестабільністю руху основного потоку, пульсація якого є наслідком накладання на нього турбулентних мікропотоків рідини, що утворюються в прилеглих зонах. Для визначення характеру течії рідини, що обтікає пластинку, її забарвлювали водонерозчинним барвником.

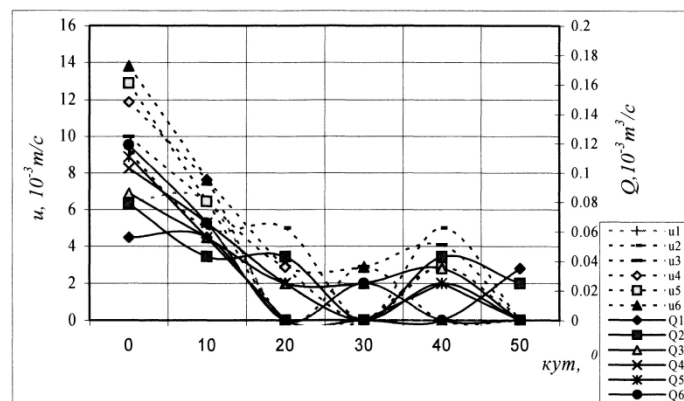


Рис. 2. Гідравлічна характеристика барабана ПМА «Вятка-автомат»

Це дало змогу візуально встановити значення Θ , за яких утворюються турбулентні мікропотоки, спостерігати динаміку їх розростання, визначити зони і характер їх взаємодії з основним потоком.

Розміщена в потоку води пластинка викликає відповідну реакцію середовища, а саме основний потік поділяється на два окремих гідропотоки, напрям і характер течії яких змінюється залежно від кута відхилення пластинки: збільшення її лобового опору призводить до утворення вихрових зон (рис. 3).

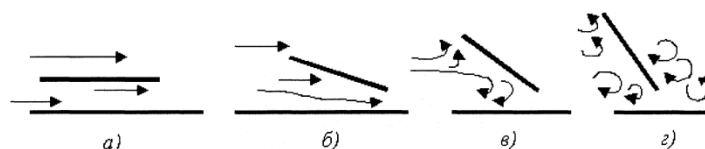


Рис. 3. Профіль ліній руху розчину води при обтіканні перфорованої пластинки
залежно від кута атаки:
а - 0°, б - 10-20°, в - 40°, г - 50°

За умови паралельного розміщення пластинки відносно стінок каналу ($\Theta=0$) лінії течії окремих гідропотоків також паралельні: за пластинкою вони з'єднуються, не спричиняючи при цьому будь-якого збурення потоку на виході з каналу.

У діапазоні значень $0 \leq \Theta \leq 10^\circ$ лобовий опір перфорованої пластинки зростає повільно, тому профіль гідропотоків наближений до прямої лінії. Подальше збільшення кута атаки ($10 \leq \Theta \leq 50^\circ$) змінює характер руху гідропотоків з ламінарного на турбулентний, при цьому отвори пластинки на структуру та напрям руху їх практично не впливають (рис. 3, а–г).

Ламінарний рух окремих гідропотоків (струменів) спрямовано уздовж поверхні паралельно розташованої пластинки (рис. 3, а), збільшення кута нахилу якої призводить до розширення площі гідравлічного тиску та перерозподілу осьових напруг гідропотоку. Внаслідок цього загальний потік поділяється на два окремих гідропотоки, кожен з яких рухається з різними швидкостями. Збільшення напору основного потоку зумовлює зростання швидкості окремих гідропотоків, які відбиваючись від поверхні пластинки утворюють вихрові зони (рис. 3, б–в). Розміри турбулентних зон неоднакові, найбільша з них – на ділянці, що має гострий кут, утворений віссю потоку і площиною пластинки (рис. 3, г).

Параметри турбулентної області в нижній частині каналу також динамічно змінюються залежно від величини Θ : спочатку має місце її зростання ($20 \leq \Theta \leq 30^\circ$), потім стабілізації ($30 \leq \Theta \leq 40^\circ$), яка переходить у заключну фазу, тобто розміри області зменшуються в розмірах і зникають ($40 \leq \Theta \leq 50^\circ$). Динамічний характер цих змін зумовлено зменшенням перетину каналу, утвореного нижньою кромкою пластинки і стінкою каналу, внаслідок чого швидкість відокремленого потоку зростає до деякої критичної межі. Подальше збільшення кута Θ призводить до різкого зростання гідравлічного опору пластинки, внаслідок чого швидкість потоку різко падає, при цьому турбулентність його також зменшується.

Перерозподіл швидкостей гідропотоків призводить до перерозподілу тиску в каналі: він досягає максимального значення в зоні безпосереднього впливу на поверхню пластинки при $\Theta = 50^\circ$ і мінімального – на зворотному боці, внаслідок чого в зоні розрідження виникає турбулентний рух мікропотоків рідини, які змішуються з гідропотоками, що обтікають пластинку (рис. 3, г). Процес взаємодії мікропотоків має хаотичний характер, їх структура неупорядкована, що й пояснює нестабільність отриманих значень тиску в цій області.

Наведений механізм не суперечить відомим фізичним положенням про характер руху рідини, в якій розміщені пластинки. Оскільки ступінь активації рідини визначається інтенсивністю роботи гребенів барабана, то очікувалося, що потенціальна енергія рухомого прального розчину, що знаходиться в пральному баку, буде частково витрачатися на подолання гідравлічного опору поверхні барабана і

текстильних матеріалів, які притискаються до його внутрішньої поверхні внаслідок дії відцентрових сил. Проте отримані результати дають підставу для відхилення висунутої гіпотези, оскільки отвори перфорації барабана на характер взаємодії рідини з його поверхнею, а отже масообмінних процесів в системі «пральний бак – барабан», не впливають.

Наведене можна інтерпретувати таким чином. Під час обертання барабана з незначною частотою (роботою гребенів барабана в цьому випадку нехтуємо) в зоні, наближеній до зовнішньої поверхні барабана, виникає шар рідини, який складатиметься з ламінарних або мікропотоків з незначним ступенем турбулізації, залежно від наближення їх до цієї поверхні. Швидкість і напрям дотичного руху цього шару буде на деякій ланці співпадати з коловою швидкістю і напрямом обертання барабана. З підвищенням частоти обертання барабана товщина цього шару зменшиться, що призведе до зростання на межі розподілу фаз дотичних напруг, під дією яких ламінарний рух мікропотоків перетвориться на турбулентний. Закручені гідропотоки намагатимуться проникнути крізь отвори поверхні барабана, які будуть екрановані (закриті) не лише текстильними матеріалами, які внаслідок дії відцентрових сил діятимуть як затвор водопроводу, а й мікропотоками, утвореними виступами отворів перфорації на зовнішній (шорсткій) поверхні барабана. Через відсутність зовнішньої сили, завдяки якій можна змінити паралельний напрям руху гідропотоків на перпендикулярний, шорсткість зовнішньої поверхні барабана R_z принципового значення також не матиме: збільшення її величини лише скоротить час перехідних процесів у рідині. Враховуючи те, що характер руху потоків в гідросистемах визначається переважно силами інерції [2, 4, 5], то можна припустити, що рух рідини у зворотному порядку, тобто з барабана в бак, також буде неможливий, оскільки з одного боку отвори перфорації закриті матеріалами, на які діють сили інерції, а з іншого – діятимуть дотичні напруги рухомого шару рідини, що знаходиться в пральному баку.

Наведене збігається з відомими з гідромеханіки положеннями, згідно з якими на межі розподілу фаз виникає пограничний шар рідини, напрям руху і швидкість якого збігається з напрямом руху і швидкістю твердого тіла, з яким рідина контактує. Під час обертання циліндричного тіла в рідинному середовищі швидкість руху пограничного шару рідини ∂u змінюється в межах, визначених відстанню між стінками утвореного каналу ∂x [4, 6]. Це дає підставу для припущення, що в реальних умовах прання на ділянці контакту бічної поверхні барабана з мийним розчином також можливо утворюється пограничний шар, розміри якого визначатимуться товщиною ∂x_1 у відцентровому напрямку по вісі x , шириною γ_1 в напрямку вісі y і довжиною z_1 по вісі z , тобто, зумовленого дугою затопленого сегмента барабана l , обмеженою дзеркалом розчину (рис. 4).

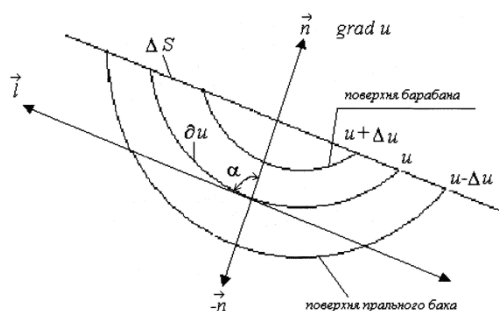


Рис. 4. Пограничний шар рідини і його характеристика

Швидкість руху шару рідини u є векторною величиною і буде спрямована по нормалі до поверхні, яка цей шар утворює, а її градієнт залежатиме від кутової швидкості барабана ω :

$$u = \omega r,$$

при цьому доцентровий напрям зростання швидкості шару буде позитивним, а похідна $\partial u / \partial t$ у відцентровому напрямку буде мати негативне значення:

$$\text{grad } u = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla u, \quad (1)$$

де u – вектор швидкості, спрямований дотично твірній поверхні; $\frac{\partial u}{\partial t}$ – похідна від швидкості по нормалі,

спрямованій по вісі x ; ∇ – оператор Гамільтона, дія якого на функцію u визначається за наступним виразом : $\nabla u = \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j + \frac{\partial u}{\partial z} k$, в якому i, j, k – одиничні вектори.

Вираз (1) у декартових координатах еквівалентний наступним рівнянням:

$$u_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \dot{x}, \quad u_y = \frac{\partial u}{\partial y} = \dot{y}, \quad u_z = \frac{\partial u}{\partial z} = \dot{z}. \quad (2)$$

Підставляючи (2) у (1) одержимо:

$$\text{grad } u(r) \equiv \dot{x}_i + \dot{y}_j + \dot{z}_k. \quad (3)$$

Оскільки барабан є циліндром, в якому висота h обмежена, то положення елементарної точки в об'ємі примежового шару рідини v буде визначатися радіус-вектором r , проведеного з початку координатних осей в точку знаходження цієї точки.

Тоді її елементарне кінцеве переміщення, яке є векторною сумою незалежних рухів упродовж осей в циліндричній системі координат (3), за проміжок часу від τ_0 до τ_1 можна визначити за таким виразом:

$$\Delta r = r(\tau_1) - r(\tau_0) = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \partial r = \int_{\tau_0}^{\tau_1} u(\tau') \partial \tau', \quad (4)$$

відомий, як кінематичне рівняння руху матеріальної точки. Згідно з висновками робіт [7], рухоме в рідині тіло утворює пограничний шар, в якому мікропотоки мають неоднакові швидкості, тобто, величина поля швидкостей розподіляється залежно від напрямку.

Враховуючи основні положення щодо властивостей рідинного середовища [8], а також приймаючи до уваги характер зовнішньої поверхні барабана, можна припустити, що поле швидкості примежового шару рідини буде також розподілятися нерівномірно.

Як було доведено, дотичні напруги, що виникають при обтіканні рідиною поверхні барабана, за величиною перебільшують тиск утворених турбулентних мікропотоків активованої рідини. Очевидно, що на швидкість і напрям їх руху будуть впливати не тільки гребені барабана, а й шорсткість його зовнішньої поверхні. Внаслідок цього характер розподілу поля швидкостей примежового шару рідини буде мати більш складну залежність, ніж наведене вище.

Отже, дані результатів експериментальних досліджень дають підставу для припущення, що обертовий рух барабана супроводжуватиметься виникненням примежового шару прального розчину,

швидкість і напрям руху якого наблизатиметься до кутової швидкості барабана. Хоча визначення його характеристик в реальних умовах технічно ускладнено миттєвістю процесів, що відбуваються в гідросистемі пральних машин, проте можна припустити, що поверхня барабана поділяє мийний розчин на два незалежних об'єми – внутрішній, сорбований текстильним матеріалом і зовнішній, що знаходиться у пральному баку. Відповідно до цього параметричні характеристики кожного з них повинні відрізнятися, оскільки умови для їх руху також різні.

В рамках цієї гіпотези можна зробити висновок, що масообмінні процеси в гідросистемі барабаних машин, очевидно, здійснюються поетапно.

Початкова стадія прання характеризується інтенсивною сорбцією рідини текстильним матеріалом: відокремлена від загального об'єму частка акумульованої матеріалами рідина під час обертання барабана буде рухатися переважно в їх структурі, а впродовж паузи звільнюватися внаслідок дії відцентрових сил з наступним змішуванням з рідиною, що знаходиться в пральному баку. Далі цикл повторюється.

Очевидно, що на характер масообміну в текстильному матеріалі у цьому випадку будуть впливати також їх морфологічна будова, яка визначатиме швидкість сорбційних процесів та об'єм рідини. Швидкість видалення часток забруднювачів зі структури текстильних матеріалів, як свідчать дослідні дані, можна прискорити шляхом спрямованого впливу мікропотоків прального розчину, проте очевидно, що досягти цього в машинах звичайного конструктивного виконання практично неможливо, оскільки відсутні відповідні умови.

Список використаної літератури

1. Альтшуль А.Д. Гидродинамические сопротивления. –М.: Недра – 1982. –224 с.
2. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящем слоем.–Л.:Химия – 1968. –512 с.
3. Алексеенко С.В., Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г. Волновое течение пленок жидкости. – Новосибирск.: – 1992. –255 с.
4. Бойко В.Ф. Движение жидкости в тонких кольцевых щелях//Напорное движение жидкости во вращающихся каналах и гидротранспорт.–М.: МИИТА –1971. Вып.386.–с.73–86.
5. Я. Бэр, Д. Заславски, С. Ирмей. Физико–математические основы фильтрации воды. /Пер. с англ. Под ред. В.Н. Кунина/. М.: Мир.– 1971.– 452 с.
6. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. - 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат– 1985. – 319 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, – 1978. – 736 с.
8. Девнин С.И. Аэрогидродинамика плохообтекаемых конструкций: Справочник.–Л.: Судостроение, –1983.– 320 с.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2012

Определение показателей гидродинамических параметров барабана бытовых автоматических стиральных машин.

Бондаренко Н.И., Петко И.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Рассмотрено вопросы движения жидкости в барабане бытовой стиральной машины.

Determination of the indexes of hydrodynamic parameters of drum of domestic automatic washing-machines.

Bondarenko.N.I., Petko I.V.

Kyiv national University of Technologies and Design

The questions of motion of liquid are considered in the drum of domestic washing-machine.