

УДК 648.235

**ФАКТОРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ГІДРОДИНАМІКУ  
БАРАБАНА ПОБУТОВИХ ПРАЛЬНИХ МАШИН**

М.Й. БОНДАРЕНКО, І.В. ПЕТКО

Київський національний університет технологій та дизайну

*Розглянуто питання руху рідини в барабані побутової пральної машини****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 взаємодії рідини з бічною поверхнею барабана.

***Результати та їх обговорення***

Питання удосконалення гідросистеми з метою інтенсифікації масообмінних процесів залишалось практично поза увагою при проектуванні та виробництві пральних машин, хоча є окремі спроби математичними способами описати залежність їх функціональних параметрів від конструктивного виконання. Як правило, їх метою є оптимізація технології обробки матеріалів шляхом конструктивних змін машин промислового виробництва, які представляють собою модифікації базової моделі ПМА-4ФБ «Вятка-автомат». Об'єктами теоретичних розрахунків переважно обирали джерело механічної активації та його елементи, за результатами яких пропонували, наприклад, змінити геометрію гребенів, їх профіль або кількість, а також схему реверсування барабана [1, 2]. Пропоновані різними авторами моделі будувалися на критеріях подібності з припущеннями стаціонарності процесів, оскільки вони відбуваються в барабані пральних машин з порівняно великою швидкістю, проте в розрахунках гідродинамічному фактору, як одного з визначальних чинників ефективності прання, достатньої уваги не приділялося. Комплекс робіт, присвячених вивченню процесу гідромеханічної обробки текстильних матеріалів, можна поділити на такі групи досліджень як: вплив конструктивних параметрів пральних машин на ефективність прання; вплив СМЗ на структуру ТМ; механізм очищення матеріалів після їх обробки у водних розчинах СМЗ; ефективність пропонованих технологій прання в машинах промислового виробництва. Взагалі пральну машину слід розглядати як інструмент, в процесі роботи якого фізико-механічні властивості ТМ змінюються залежно від хімічного складу мийного розчину. Тому практичного значення набувають перші два напрями, тоді як інші мають спадковий характер. З цього випливає, що за рахунок зміни конструктивних параметрів інструменту (барабан пральної машини) і складу робочого середовища (водні розчини СМЗ) можна змінювати величину вихідного параметра (якість прання), а визначення закономірностей роботи усіх складових системи (приладу) дасть змогу скласти прогноз про її стан (функціональний рівень).

Переміщення ТМ в барабані, що обертається, порівнюють з моделлю руху сипких матеріалів. Рух сипких матеріалів, що знаходяться всередині барабана, із збільшенням частоти його обертання змінюється з перекошування на циклічний. На цій основі були розроблені моделі руху текстильних

матеріалів у барабані пральних машин [3, 4]. Приймаючи до уваги, що агрегатний стан текстильних виробів та їх габаритні розміри відрізняються від дрібних гранульованих часток сипких сумішей, можна зробити висновок про недостатню наближеність розрахунків, оскільки характер їх переміщення буде визначатися ступенем зв'язаності окремих виробів, а траєкторія руху – величиною вільного об'єму барабана.

Приймаючи до уваги те, що висота падіння матеріалів у рідину буде визначатися внутрішнім радіусом барабана, який зменшується у міру його заповнення, а частота падіння ТМ - кутовою швидкістю барабана, можна припустити, що ймовірність збігу частоти занурення елементарного матеріального тіла в розчин з частотою обертання матеріальної точки поверхні барабана буде залежати від ступеня свободи тіла і наближатися до одиниці при максимальному заповненні об'єму барабана. Це означає, що зменшення вільного об'єму барабана через збільшення маси оброблюваних матеріалів призведе до погіршення умов примусової циркуляції мийного розчину всередині матеріалів.

Оскільки барабан частково занурений в мийний розчин, то опір його поверхні  $F_r$  рухомому потоку рідини, що знаходиться в пральному баку, буде визначатися густиною рідини  $\rho$ , швидкістю руху  $u_0$ , площею бічної поверхні  $S$ , що контактує з рідиною та коефіцієнтом лобового опору  $c$ , який є функцією числа Рейнольдса ( $c = f(Re)$ ) і значення якого залежить від колової швидкості барабана  $\omega$ , гідравлічного діаметра  $D_r$  та коефіцієнта кінематичної в'язкості рідини  $\nu$ :

$$F_r = c \frac{\rho \cdot S}{2} u_0^2 \quad (1)$$

Гідродинамічний опір барабана  $F_6$  рухомому мийному розчину визначається поверхнею  $S$ , площею контакту якої зменшують, як правило, шляхом її перфорації.

Якщо у виразі (1) знехтувати властивостями середовища, в якому знаходиться тіло, то гідродинамічний опір барабана  $F_6$  потоку рідини визначатиметься площею  $S$  його поверхні, а коефіцієнт  $c$ , стосовно характеру обтікання плоскої поверхні циліндра рідиною, можна ототожнити з коефіцієнтом перфорації барабана  $Z$ , який є відношенням сумарної площі всіх отворів перфорації  $S_n$  до загальної площі внутрішньої поверхні барабана  $S_b$ :

$$Z = \frac{\sum S_n}{\sum S_b}, \quad (2)$$

в якому  $S_n$  дорівнює:

$$S_n = K \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3)$$

де  $d$  і  $K$  – діаметр і число отворів перфорації відповідно, а  $S_b$  визначається з виразу:

$$S_b = 2\pi RH + \pi(R^2 - r^2) + n(ab) + n(a_1b_1), \quad (4)$$

де  $R$  і  $H$  – внутрішній радіус і висота барабана, відповідно, м;  $r$  – внутрішній радіус завантажувального люка;  $ab$  і  $a_1b_1$  – площа ділянок бічної поверхні барабана, поділених гребенями і площа гребенів відповідно;  $n$  – кількість гребенів.

Таким чином, площа активної поверхні барабана  $S_a$  складатиметься з площ перфорованих ділянок:

$$S_a = \sum ab + \sum a_i b_i \quad (5)$$

За умови  $K \rightarrow \max$  його активна поверхня буде наближатися до решітки, то її гідравлічну характеристику можна оцінити через ефективність барабана  $E_n$ , яка є сумарним відношенням площі усіх перфорованих ділянок  $S_{mn}$  до загальної площі поверхонь барабана  $S_6$  (рис. 1):

$$E_n = \frac{\sum S_{mn}}{\sum S_6} \quad (6)$$

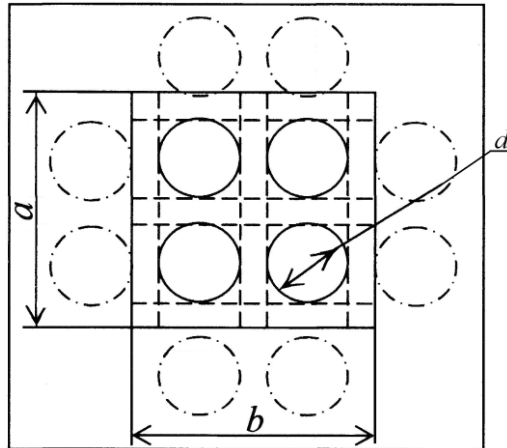


Рис. 1. До розрахунку ефективної поверхні барабана:  $d$  – діаметр отвору перфорації;  $a$  і  $b$  – розміри елементарної ділянки

Таким чином, масообмін в системі «барабан – пральний бак» буде визначатися гідродинамічною характеристикою барабана, зокрема, витратою рідини крізь отвори перфорації, функцією якої є швидкість  $u$  і час її витоку  $t$  (рис. 2).

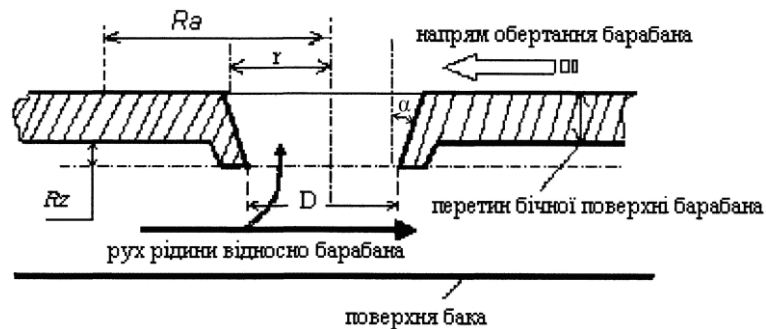


Рис. 2. До розрахунку гідравлічної характеристики барабана:

$Ra$  – питома поверхня

Оскільки між контактними поверхнями існують сили тертя, то під час обертання барабана розчин під дією дотичних сил підіймається на деяку висоту  $H_1$  в об'ємі, обмеженому нерухомою стінкою бака і бічною поверхнею барабана (рис. 3).

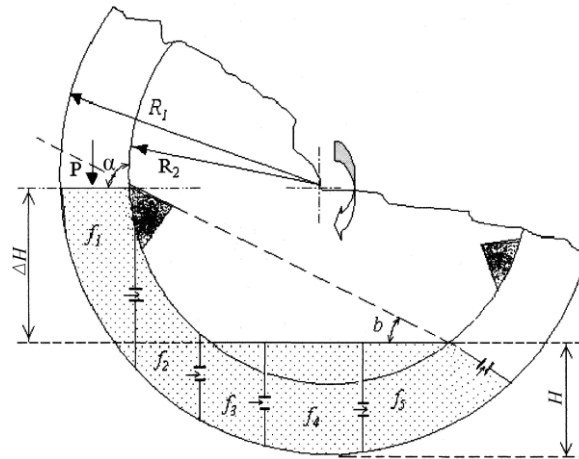


Рис. 3. Схема взаємодії барабана з потоком рідини:

$R_1$  і  $R_2$  – радіуси бака та барабана відповідно;  $f_1...f_5$  – елементарні з’єднані ємкості;  $p$  – тиск;  $H$  – початкова висота рідини;  $\Delta H$  – висота підйому рідини;  $\alpha$  – кут атаки;  $b$  – кут відхилення дзеркала рідини

Потенціальна енергія піднятої рідини, градієнт тиску якої в напрямі вісі  $x$  визначатиметься висотою, на яку відхиляється її дзеркало  $\Delta H$ , буде витрачатися на встановлення рівноваги. Це зумовить проходження деякого об’єму рідини крізь отвори барабана, тим самим будуть створюватися умови для її масообміну в гідросистемі приладу.

Для визначення сили, з якою рідина тисне на барабан, виділимо елементарну його поверхню  $dF$  розмірами  $dF = hdx$ , де  $h$  – висота, на яку діють напруги ( $\delta_1$ ) та ( $\delta_6$ ) перпендикулярно до зовнішньої і внутрішньої поверхонь барабана, а уздовж поверхні - сила тертя  $f\delta_m$ , яка спрямована до центру рівноваги рідини (рис. 4).

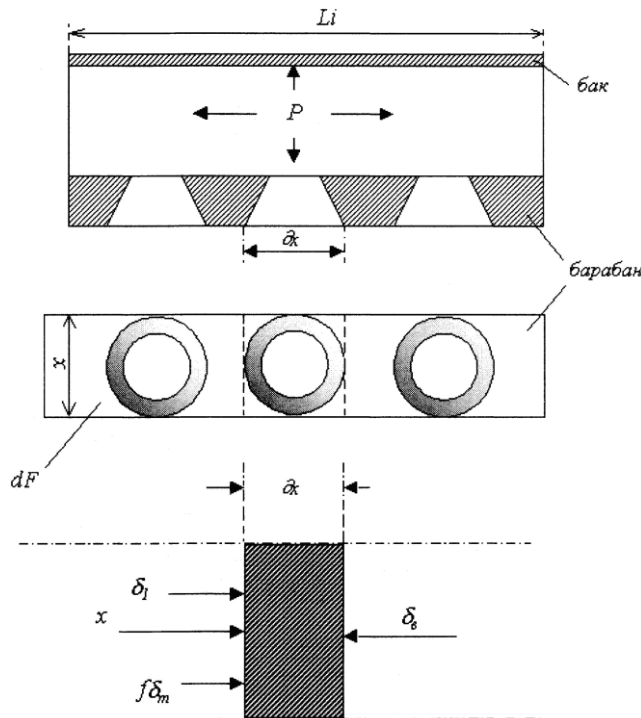


Рис. 4. Ділянка бічної поверхні барабана у формалізованому вигляді

Величина осьових напруг, що виникають на межі розподілу фаз внаслідок дотичного руху потоку у будь-якій точці контакту тіл, визначатиметься площею та видом контактної поверхні:

$$\delta_1 = \sigma \delta_m [1 + Z_6(x - r_n)], \quad (7)$$

де  $Z_6 = \partial f / R_z$ ,  $r_n$  – радіус елементарного гідропотоку, який тисне на поверхню площею  $\partial F$  з шорсткістю  $R_z$ .

Оскільки величина тиску рідини  $p$  на поверхню тіла визначається різними чинниками, у тому числі площею та станом поверхні контактних тіл:

$$p = R_t F, \quad (8)$$

де  $R_t$  – питомий опір поверхні гідропотоку, а  $F$  – площа контакту гідропотоку з поверхнею тіла, то повний тиск буде інтегралом усіх напруг від  $x=0$  до  $x = L_i/2$ , а тиск на безкінечно малу площину  $dF$  визначатиметься співвідношенням [5, 6]:

$$\partial p = \delta_1 \partial F \quad (9)$$

Площина  $dF$  обмежена ділянкою прямокутника, в якому вписано отвір перфорації, в радіальному та осьовому напрямках:

$$\partial F = x \partial x = \int_0^{\frac{L_m}{2}} x \partial x \quad (10)$$

Після підстановки (10) в (9) одержимо такий вираз:

$$p = \int_0^{\frac{L_m}{2}} \delta_1 x \partial x, \quad (11)$$

який, після підстановки  $\delta_1$  з виразу (7) в (11) та послідовного перетворення кінцевого рівняння, призведе до виразу, що характеризує залежність питомого тиску гідропотоку від поверхні тіла [10, 11]:

$$p = F \delta_m \left( 1 + \frac{fd}{3Z_1} \right), \quad (12)$$

в якому

$$\delta_m \left( 1 + \frac{fd}{3Z_1} \right) = R_t, \quad (13)$$

і підстановка якого у вираз (12) призведе до аналогічного (8) виразу.

Незважаючи на те, що рівняння (8) має наближений характер через технічну ускладненість визначення коефіцієнта тертя  $f$  та осьової напруги  $\delta_m$ , воно не суперечить відомій з гідродинаміки залежності тиску від геометричних параметрів і характеру поверхні, підтверджуючи тим самим її придатність для застосування в пропонованій теорії барабанного способу прання.

### **Висновки**

Характер взаємодії рідини з бічною поверхнею барабана визначається станом контактних тіл, зокрема, її шорсткістю, зумовленою конструктивним виконанням отворів перфорації. Обертальний рух барабана створює умови для масообміну рідини крізь отвори перфорації його поверхні, величина градієнта тиску рідини на яку визначається висотою зміщення мийного розчину в напрямі обертання барабана.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Усольцев О. М., Петко І. В. Удосконалення робочих органів барабанных прально-віджимних машин // Праці наукової конференції, присвяченої 65-річчю заснування ДАЛПУ. – К.: ДАЛПУ. – 1995. – с. 7.
2. Федорец В. А., Петко І. В., Усольцев А. М. Моделирование процесса движения материала, перемешиваемого во вращающемся барабане с гребнями // Праці міжнародної науково-техн. конференції «Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва». –Т 1. – К.: НТУУ "КПГ", –1998. – с. 184–192.
3. Коротич В. И. Движение сыпучего материала во вращающемся барабане // Сталь. –1961. – № 8. – с. 680–686.
4. Панфилов Е. А., Набережных А. И., Заславский И. Ф. и др. Методика расчета бытовых барабанных стиральных машин // Электротехника. –1985. –№ 6. –с. 33–36.
5. Орчинский С. В., Пархоменко В. В. Математическое моделирование механического фактора стирки в барабанных стиральных машинах // Сб. науч. тр./ ВНИЭКИЭМП. – Киев. –1988. – с. 100–109.
6. Бочаров В. П., Струтинский В. Б. Расчет и проектирование устройств гидравлической струйной техники. –К.: Техника. –1987. – 127 с.
7. Петко І. В., Слободянюк В. А. Обеспечение стабильности истечения струи жидкости за счет выбора рациональных параметров гидрорезной установки. // Изв. ВУЗов «Технология легкой пром-сти» – № 5. –1992. – с. 92– 95.