

О. Ю. ВОЛЯНИК, І. В. ПЕТКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОБИЧАЙКИ ТА ГРЕБЕНІВ БАРАБАНУ З ОБРОБЛЮВАНИМ МАТЕРІАЛОМ ПІД ЧАС ОБЕРТАННЯ БАРАБАНУ З ПІДВИЩЕНОЮ ШВИДКІСТЮ

Стаття присвячена дослідженню взаємодії обичайки та гребенів барабану з оброблюваним матеріалом у автоматичній пральній машині в ході виконання операції віджимання з підвищеною швидкістю обертання барабану. Показано сили, що виникають внаслідок такої взаємодії та проаналізовано геометричні параметри гребенів барабану пральної машини.

Ключові слова: пральна машина, барабан, гребінь, обичайка, віджимання.

O. VOLIANYK, I. PETKO

Kyiv National University of Technologies and Design

STUDY OF THE INTERPLAY OF TUB AND DRUM PADDLES WITH MATERIAL DURING ROTATION OF THE DRUM AT HIGH SPEED

The article deals with the processes and forces that arise during the interaction of the material with the components of the drum of the washing machine at a high speed of rotation that occurs during the spin operation. In consumer services in drum washing machines during rotating drum washing mode is performed mechanical effect on the treated material and its mixing, which also provides hydrodynamic activation of the washing solution. It was analysed that the emergence of a drum imbalance as a result of uneven distribution of the processed material substantially limits the possibility of further spinning at an increased frequency of rotation. The regularities of the material distribution on the surface of the shell are investigated. Shown the change of the forces which are acting on the accelerated rotation of the drum as a result of the interaction of surfaces of the lateral faces of the paddles and the treated material, with the change in the side faces of the angle of inclination. The forces that arise at the point of contact of the material and the paddles of the drum of the washing machine are considered. It was investigated that at accelerated rotation of the drum, the material always interacts only with the same surface of the paddle. Considered the conditions that must be ensured for moving the processed element of the material along the surface of the lateral face of the drum paddle. The variants of interaction of material with paddles of various forms are analyzed. Described that at high angles of side edges, without reducing the height of the ridges decreases useful internal volume of the drum due to increased volume, dealing with these ridges. The interconnection of the parameters of the geometric shape of the paddles of the tub and the mode of its rotation is obtained, which allows to find a rational relationship between them and, thus, to increase the efficiency of the spin cycle.

Keywords: washing machine, drum, paddle, tub, spinning.

Вступ

Різні за формою і конструктивним виконанням барабани широко використовуються в техніці для здійснення перемішування матеріалів в різних галузях промисловості. У побутовому обслуговуванні в барабаних пральних машинах під час обертання барабана в режимі прання здійснюється механічний вплив на оброблюваний матеріал і його об'ємне перемішування. Воно необхідне для перенесення відокремлених від волокон забруднень в миючий розчин, який насичений поверхнево активними речовинами (ПАР). Для підвищення ефективності процесу прання барабани забезпечені гребенями, розміщеними на внутрішній поверхні їх обичайки. При цьому забезпечується також і гідродинамічна активація миючого розчину.

Постановка проблеми

Підвищення ефективності відцентрового віджимання оброблюваного матеріалу забезпечується, як правило, збільшенням частоти обертання барабану [1]. Але виникнення дисбалансу барабану в результаті нерівномірного розподілу матеріалу, що віджимається, істотно обмежує можливість подальшого віджимання при збільшеній частоті обертання [2].

Аналіз останніх джерел

Для забезпечення рівномірності розподілу матеріалу, що віджимається в [3, 4], запропоновано кілька конструкцій барабанів. В загальному випадку, рівномірний розподіл матеріалу по поверхні обичайки на глибину барабану буде забезпечувати тільки перенесення його центру мас на вісь обертання барабану, тобто статичне врівноважування [5]. У сукупності зі зміною виконання геометричної форми обичайки, пропонуваною в [6], буде забезпечуватися розподіл оброблюваного матеріалу, що відповідатиме динамічній врівноваженості обертового барабану, при якій вісь обертання буде однією з головних центральних осей інерції барабану з матеріалом [7]. На рис. 1 показана схема однієї із таких конструкцій [8].

Метою роботи є дослідження процесів, що виникають внаслідок взаємодії конструктивних елементів барабану пральної машини з оброблюваним матеріалом.

Виклад основного матеріалу

Розподіл матеріалу, що віджимається, по поверхні обичайки барабану відбувається в початковому періоді відцентрового віджимання, то при збільшенні частоти обертання барабану, при цьому відбувається зміна сил інерції. При переході від операції прання до віджимання найбільш віддалені від осі обертання шари матеріалу, що безпосередньо взаємодіють з поверхнею обичайки, починають утримуватися на ній протягом повного оберту барабану. В той самий час шари, що ближче розташовані до осі обертання ще відриваються від поверхні і падають з початковою швидкістю. В результаті прискореного обертання

барабану, на шари матеріалу, що утримуються на його обичайці, діє складова сили інерції \overline{F}_e^i (рис. 1), яка спрямована по нормалі до траєкторії руху центру мас матеріалу, та складова \overline{F}_τ^i , яка спрямована по дотичній до траєкторії руху. Під дією складової \overline{F}_τ^i матеріал переміщується вздовж обичайки. Такому переміщенню матеріалу перешкоджають нерівності внутрішньої поверхні обичайки.

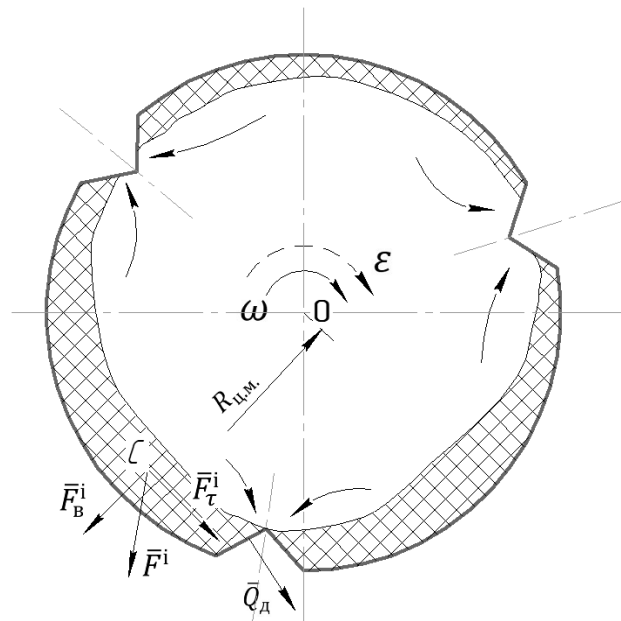


Рис. 1. Схема розподілу матеріалу в барабані

Відомо [9], що від нахилу поверхонь бічних граней гребенів залежать величини кутів відривання і, отже, ефективність механічного впливу на опрацьований матеріал при обертанні барабану в режимі прання. У той же час взаємодія поверхонь бічних граней гребенів з матеріалом відбувається при прискореному обертанні барабану в початковому періоді відцентрового віджимання, що дозволяє знайти залежність величини кута α_1 (рис. 2) від режиму обертання барабану в розглянутий період і конструктивного виконання його обичайки та гребенів і, таким чином, визначати для даних умов величину кута α_1 , яка є раціональною з точки зору забезпечення переміщення матеріалу, який віджимается через гребені і його розподілення на глибину барабану по обичайці. Для оптимізації геометричної форми у гребенів барабану прально-віджимних машин, та нахилу поверхонь бічних граней необхідно враховувати обидва зазначених фактори. Тому що в барабанних прально-віджимних машин відцентрове віджимання проводиться кожного разу в одному і тому ж напрямі обертання барабану, то, при його прискореному обертанні, з матеріалом взаємодіють завжди тільки одні й ті ж поверхні гребенів. Для поліпшення рівномірності розподілення матеріалу при здійсненні операції віджимання у гребенів барабану доцільно оптимізувати нахил поверхонь тільки цих бічних граней виходячи з умови забезпечення переміщення матеріалу, що віджимается, а нахил протилежних граней гребенів виконувати, виходячи з умов їх взаємодії з оброблюваним матеріалом тільки в режимі прання [9]. На рис. 2 показана зміна сил, що діють при прискореному обертанні барабану в результаті взаємодії поверхонь бічних граней гребенів і оброблюваного матеріалу, при зміні у бічних граней величини кута нахилу α_1 .

Прийнято наступні позначення:

O – вісь обертання барабану;

R_g – радіус внутрішньої поверхні обичайки барабану;

ω, ε – для розглянутого моменту обертання барабану, відповідно, кутова швидкість і кутове прискорення;

ц.м. – центр мас умовно виділеного елемента оброблюваного матеріалу, що взаємодіє з поверхнею бічної грані гребеня, яка набігає на матеріал;

m – маса даного елемента оброблюваного матеріалу;

$R_{ц.м.}$ – відстань центра ваги розглянутого елемента оброблюваного матеріалу до осі обертання барабану;

α_1 – кут нахилу поверхні бічної грані гребеня, що набігає на матеріал, відносно радіальної площини, яка проведена через вершину гребеня;

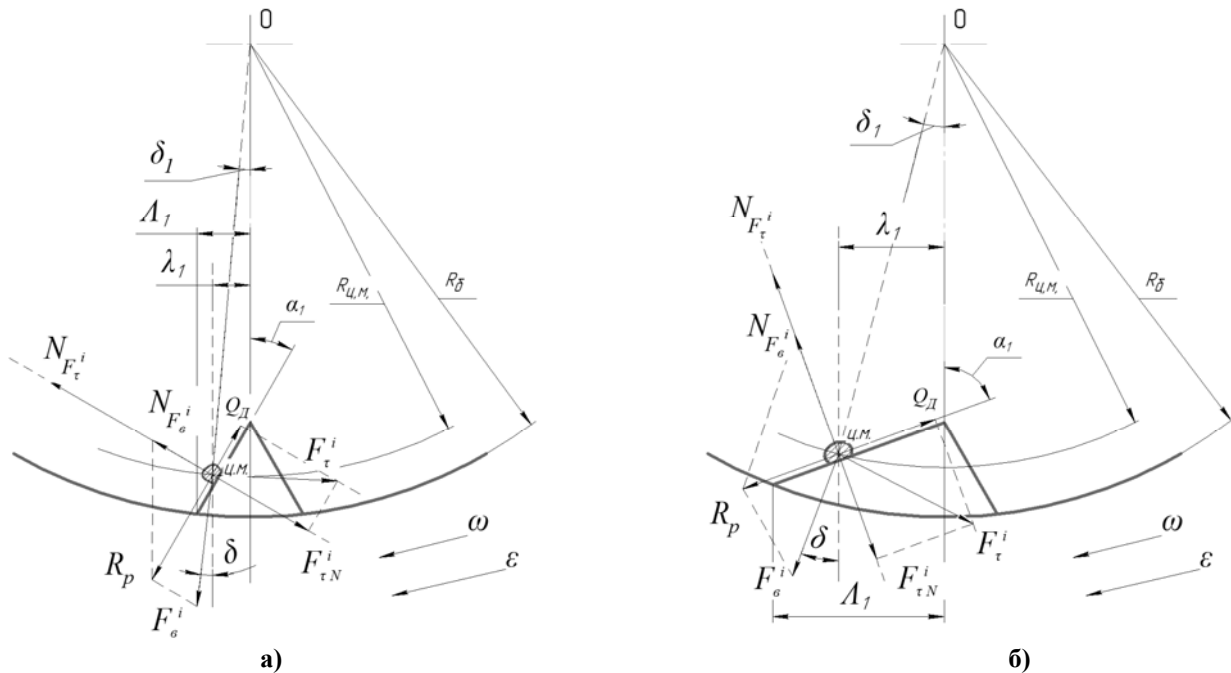


Рис. 2. Сили, які виникають при прискореному обертанні барабану

λ_1 – відстань центра ваги розглянутого взаємодіє з гребенем елемента оброблюваного матеріалу до радіальної площини, яка проведена через вершину гребеня;

Λ_1 – відстань від лінії сполучення поверхонь обичайки барабану і набігаючої бічної грані гребеня до радіальної площини, яка проведена через вершину гребеня;

δ – кут між радіус-вектором, проведеним від осі обертання барабану до центру тяжіння розглянутого елемента оброблюваного матеріалу, і радіальної площиною, яка проведена через вершину гребеня. Його величина визначається співвідношеннями:

$$\delta = \arcsin \frac{\lambda_1}{R_{ц.м.}}, \quad 0 \leq \delta \leq \arcsin \frac{\Lambda_1}{R_\sigma}$$

На даний умовно виділений елемент оброблюваного матеріалу при прискореному обертанні барабану в початковому періоді здійснення відцентрового віджимання діють наступні сили (силою тяжіння \bar{P} даного елемента нехтуємо):

\bar{F}_σ^i – відцентрова складова сили інерції

$$F_\sigma^i = m\omega^2 R_{ц.м.};$$

\bar{F}_τ^i – дотична складова сили інерції

$$F_\tau^i = m\epsilon R_{ц.м.};$$

$\bar{N}_{F_\sigma^i}$ та $\bar{N}_{F_\tau^i}$ – відповідно, складові нормальної реакції поверхні бічної грані гребеня від тиску на неї розглянутого умовно виділеного елемента оброблюваного матеріалу під дією сил \bar{F}_σ^i та \bar{F}_τ^i

$$N_{F_\sigma^i} = F_\sigma^i \cos(90^\circ - \alpha_1 + \delta)$$

$$N_{F_\tau^i} = F_\tau^i \sin(90^\circ - \alpha_1 + \delta)$$

$\bar{F}_{тер.зр.}$ – гранична сила тертя ковзання

$$F_{тер.зр.} = f_0(N_{F_\sigma^i} + N_{F_\tau^i})$$

де f_0 – статичний коефіцієнт тертя оброблюваного матеріалу по поверхні бічної грані гребеня;

\bar{Q}_δ – сила, що переміщує розглянутий умовно виділений елемент оброблюваного матеріалу по поверхні бічної грані гребеня, що набігає на матеріал при прискореному обертанні барабану

$$Q_\delta = F_\tau^i \cos(90^\circ - \alpha_1 + \delta)$$

$\bar{Q}_\sigma = \bar{F}_{тер.зр.} + \bar{F}_p$ – сила, яка протидіє переміщенню даного елемента по поверхні набігаючої

бічної грані гребеня, де \bar{R}_p – рівнодіюча сил \bar{F}_τ^i та \bar{F}_τ^i

$$Q_\tau = f_0 \left(N_{\bar{F}_\tau^i} + N_{\bar{F}_\tau^i} \right) + F_\tau^i \sin(90^\circ - \alpha_1 + \delta)$$

Для переміщення елемента оброблюваного матеріалу, який розглядається, по поверхні бокової грані гребеня необхідно забезпечити умову

$$Q_\tau > Q_\tau$$

або

$$F_\tau^i \cos(90^\circ - \alpha_1 + \delta) > f_0 F_\tau^i \cos(90^\circ - \alpha_1 + \delta) + f_0 F_\tau^i \sin(90^\circ - \alpha_1 + \delta) + F_\tau^i \sin(90^\circ - \alpha_1 + \delta)$$

Звідси

$$F_\tau^i - f_0 F_\tau^i > (F_\tau^i + f_0 F_\tau^i) \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha_1 + \delta)$$

та

$$\operatorname{tg}(90^\circ - \alpha_1 + \delta) < \frac{F_\tau^i - f_0 F_\tau^i}{F_\tau^i + f_0 F_\tau^i}$$

З даної нерівності знаходимо, що переміщення матеріалу через гребені буде здійснюватись при виконанні наступного співвідношення

$$90^\circ - \alpha_1 + \delta < \operatorname{arctg} \frac{\varepsilon}{\omega^2}$$

звідки

$$\alpha_1 > \operatorname{arctg} \frac{\varepsilon}{\omega^2} + \delta$$

Найбільша величина кута δ залежить від співвідношення розмірів основи поперечного перерізу гребеня і обичайки барабану. Для максимального значення δ отримуємо

$$\alpha_1 > \operatorname{arctg} \frac{\varepsilon}{\omega^2} + \operatorname{arcsin} \frac{\Lambda_1}{R_\tau}$$

При збільшенні кута нахилу бічної грані гребеня, яка є набігаючою, при рівних значеннях ω , ε , та m зростає сила \bar{Q}_τ , що переміщує матеріал по поверхні цієї бічної грані, і, водночас зменшується та протидіє переміщенню матеріалу сила \bar{R}_p .

Величина кута α_1 визначається співвідношенням значень параметрів, і, в загальному випадку не обмежується (може доходити до 90° і більше). У той самий час, при великих кутах нахилу бічних граней, без зменшення висоти гребенів маємо зменшення корисного внутрішнього об'єму барабану через збільшення об'єму, що займається цими гребенями. Тому при конструктивному виконанні асиметричних гребенів доцільно величину кута α_1 обмежувати $70\text{--}75^\circ$, що доведено експериментальними дослідженнями.

Висновки

Проведено аналіз взаємодії гребенів і обичайки барабану з оброблюваним матеріалом при прискореному обертанні барабану в початковому періоді відцентрового віджимання. Отримано взаємозв'язок параметрів геометричної форми гребенів барабану і режиму його обертання, що дозволяє знаходити раціональне їх співвідношення і, тим самим, підвищувати ефективність віджимання.

Література

1. Петко І. В. Електропобутова техніка / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 213 с.
2. Петко І.В. Аналіз механічного впливу на матеріал під час обробки в барабані з гребенями, що обертається / І.В. Петко, О.М. Усольцев // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький : ТУ Поділля, 2000. – № 5. – Частина І. – С. 30–32.
3. Нагорный П.И. Управление распределением отжимаемого белья в барабане стиральной машины путём изменения конструкции барабана / П.И. Нагорный, А.М. Усольцев, Б.Б. Мальцев, Л.В. Мельник // Исследование и разработка нового поколения машин и приборов для быта. – М. : ЦНИИТЭИлепишемаш, 1983. – С. 43–50.
4. Патент України на корисну модель № UA88018. Барабан прально-віджимної машини / Гузенко Ю. М. – 25.02.14, Бюл. № 4.
5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин : підручник / Кіницький Я.Т. – Київ : Наукова Думка,

2002. – 659 с.

6. А. с. 1025765 СССР, МКИ D 06 F 37/04. Барабан стирально-отжимной машины / Л.В. Мельник, П.И. Нагорный, А.М. Усольцев, Б.Б. Мальцев, И.П. Радченко (СССР). – № 3303090/28-12 ; заявлено 18.06.81 ; опубл. 30.06.83, Бюл. № 24. – 3 с.

7. Теоретична механіка : підручник / Булгаков В. М., Яременко В. В., Черниш О. М., Березовий М. Г. – Київ : Центр навчальної літератури, 2017. – 640 с.

8. А. с. 986993 СССР, МКИ D 06 F 37/04. Барабан для стирально-отжимной машины / Л.В. Мельник, А.М. Усольцев, Б.Б. Мальцев, П.И. Нагорный, И.П. Радченко (СССР). – № 3321153/29-12 ; заявлено 10.07.81 ; опубл. 07.01.83, Бюл. № 1. – 4 с.

9. Орчинский С. В. Влияние геометрии гребней барабану стирально-отжимной машины на ее функциональные и эксплуатационные показатели / С. В. Орчинский, А. М. Усольцев, И. И. Исаенко // Производственно-технический опыт. – М. : ЦНТИ «Поиск», 1989. – № 8. – С. 99–101.

References

1. Petko I. Electrical Appliances / I. V. Petko, O. P. Burmistenkov, T. Ya. Bila, M. Y. Skyba. – Khmelnytsky: KhNU, 2017. – 213 p.
2. Petko I.V., Usoltsev O.M. Analysis of the mechanical influence on the material during processing in a drum with rotating combs // Bulletin of the Technological University of Podillya: Scientific journal. – Khmelnytsky, TU Podillya, 2000. – No. 5. – Part I. – P. 30–32.
3. Nagorny P.I., Usoltsev A.M., Maltsev B.B., Melnyk L.V. Management of the distribution of pressed linen in the drum of the washing machine by changing the design of the drum // Research and development of a new generation of machines and appliances for everyday life. – Moscow: TsNITIEIleppilishchemash, 1983. – P. 43–50.
4. Guzenko Yu. M. Drum of a washing-machine. Patent of Ukraine for Utility Model №UA88018 of February 25, 14, Bull. № 4.
5. Kynitsky Ya.T. Theory of Mechanisms and Machines. Textbook. – Kyiv: Naukova Dumka, 2002. – 659 p.
6. s. 1025765 USSR, MKI D 06 F 37/04. Drum of the washing-pressing machine / L.V. Melnik, P.I. Nagorny, A.M. Usoltsev, B.B. Maltsev, I.P. Radchenko (USSR). – No. 3303090 / 28-12; Claimed 18/06/81; Pubwished Jun 30, 8, Bull. No. 24. – 3 s.
7. Bulgakov V.M., Yaremenko V.V., Chernysh O.M., Berezovsky M.G. Theoretical Mechanics. Textbook. – Kyiv: Center for Educational Literature, 2017. – 640.
8. s. 986993 USSR, MKI D 06 F 37/04. Drum for a washing-press machine / L.V. Melnik, A.M. Usoltsev, B.B. Maltsev, P.I. Nagorny, I.P. Radchenko (USSR). – № 3211113 / 29-12; Claimed 10.07.81; Pubwished 07/01/83, Bul. № 1. – 4 s.
9. Orchinsky S.V. Influence of the geometry of the crest of the drum of the washing-press machine on its functional and operational parameters / S.V. Orchinsky, A.M. Usoltsev, I.I. Isaenko // Production and technical experience. – Moscow: CSTI "Search", 1989. No. 8. – P. 99–101.

Рецензія/Peer review : 5.3.2019 р. Надрукована/Printed :10.4.2019 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Бурмістенков О. П.