

УДК 648.238

ВОЛЯНИК О.Ю., ПЕТКО І.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ  
ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У БАРАБАННИХ ПРАЛЬНИХ  
МАШИНАХ**

*Мета.* Дослідити процес механічного впливу на текстильні матеріали та обґрунтувати можливість його інтенсифікації в побутовій пральній машині.

*Методика.* Розглянуті методи взаємодії тіл у обертовому механізмі барабану пральної машини при одночасній дії хімічних, теплових та механічних чинників.

*Результати.* Проаналізовано фізичні процеси інтенсифікації мийного розчину та вплив конструктивних параметрів барабану на якість відпирання матеріалів.

*Наукова новизна.* Показано, що інтенсифікація процесів в барабані пральної машини залежить від геометричної форми гребеня та повинна бути врахована при розрахунках пральних агрегатів, зокрема, для покращення енергоефективності.

*Практична значимість.* Отримані залежності можуть бути використані при проектуванні сучасних пральних машин.

*Ключові слова:* пральна машина, гребінь, обробка текстильних матеріалів.

**Вступ.** Процес прання є багатофакторним, тобто таким, в якому на якість відпирання текстильних матеріалів одночасно впливають механічний, тепловий та хімічний фактори. Водночас, не варто забувати про кількість витраченої енергії при пранні, бо саме енергоефективність є переважно визначальною як для сучасного споживача, так і для виробника техніки [1]. Як показали попередні дослідження, зменшити витрати електроенергії можна, не в останню чергу, завдяки підвищенню впливу механічного фактору при обробленні текстильних матеріалів, а саме модифікації геометричної форми гребенів барабана пральної машини.

Дослідженням впливу форми гребенів на якість відпирання внаслідок зміни їх параметрів присвячено відносно небагато праць, але в них переважно пропонується деформація або конструктивна трансформація по довжині однієї бічної грані, або, підвищення, зокрема, гідромеханічного впливу гребеня внаслідок додавання перфорації.

**Постановка завдання.** На основі проведеного аналізу способів підвищення ефективності відпирання текстильних матеріалів, враховуючи перспективність збільшення механічного впливу на якість відпирання завданням дослідження була поставлена розробка гребеня раціональної форми.

**Результати дослідження.** В прально-віджимних машинах барабанного типу механічний вплив на тканину здійснюється шляхом перемішування виробів в пральному барабані, яке полягає в тому, що при обертанні вироби захоплюються гребенями, піднімаються і під дією власної маси падають в рідину. В режимі прання гребені потрібні для надання виробам максимальної кінетичної енергії, тобто тканина набігає на поверхню гребеня, піднімається на максимально можливу висоту і падає з максимальною кінетичною енергією. В режимі віджимання, коли відцентрові сили перевищують власну масу вологих виробів, вони притискаються до барабану у вигляді кільця і обертаються разом з ним.

Відомо, що ефективність відпирання текстильних матеріалів  $E$  залежить від технологічного режиму обробки, який певною мірою визначається конструктивним виконанням джерела активації розчину, а його кількісне значення – такими чинниками, як ступінь хімічного  $A$  і теплового  $B$  впливу, заповнення барабану  $C$ , тривалість обробки  $T$ , концентрація мийного розчину  $K$ , показник водного модуля  $W$  тощо:

$$E = f(A, B, C, T, K, W \dots), \%$$

велика кількість показників, які діють одночасно, підкреслює багатofакторний механізм процесу і складність відтворення результатів. Перелік визначальних факторів якості обробки текстильних матеріалів можна доповнити конструктивно-технологічним виконанням функціональних елементів машин, особливістю їх гідросистем тощо.

Ідеалізовану пральну машину потрібно розглядати як збалансовану систему, кожна складова якої виконує свою роль у певній послідовності. Відповідно до положень теорії надійності складних систем зміна кількісного складу чи якості кожного з елементів неодмінно викликає її реакцію, або, якщо брати конкретно пральні машини, то зміну вихідних параметрів. Тому, закономірність цих змін можна прогнозувати за умови всебічного дослідження об'єкта в цілому.

Система «пральний бак – барабан» з деяким наближенням аналогічна системі «циліндр у циліндрі», робота внутрішнього з яких полягає, зокрема, в активації рідини, в яку він частково занурений. Швидкість поступового руху рідини буде збільшуватися разом з підвищенням колової швидкості барабана, однак обмеженість об'єму бака, в якому ця рідина міститься, і гравітаційне тяжіння, будуть, очевидно, змінювати характер її плину. Зрозуміло, що потік рідини в пральному баку за умови відсутності гребенів барабана мав би інший характер, проте рух порожнин, які утворені гребенями барабану, призводить до різкого зростання турбулентності миючої рідини і можливого її розподілу на різні гідропотоки, кожен з яких накладатиметься на основний потік. Таким чином, активний стан рідини визначається геометричними розмірами гребенів, їх кількістю і кутовою швидкістю барабану.

Важливо зазначити, що оцінити ступінь впливу гребенів барабану на мийний розчин, активний стан якого буде визначати величину вихідного параметра – ефективність прання, можна лише за умови припущення стаціонарності процесу.

Розглянемо зовнішню ділянку поверхні гребеня барабана. Кожна з елементарних ділянок зовнішньої поверхні гребеня  $df$  віддалена від осі барабана в радіальному напрямі таким чином, що при його обертанні утворюються кола з різними радіусами. Матеріальні точки, що розміщені на цих колах, будуть мати, відповідно, різні швидкості, внаслідок чого витрати енергії, необхідної для приведення рідини в рухомий стан, для кожної ділянки будуть різними. Таким чином, елементарна ділянка є площиною  $df$ , робота якої полягає у переміщенні рідини в напрямі її руху, тобто вона аналогічна мішалці з лопатями, що обертається навколо осі з постійною коловою швидкістю.

Розміри елементарної ділянки визначаються її площею, тобто  $df = \partial x h$ , де  $h$  - висота ділянки гребеня.

Кінетична енергія  $W_{\text{кін}}$ , яку можна визначити як роботу елементарної ділянки за одиницю часу, що необхідна для надання руху елементарному об'єму рідини  $dv$ , дорівнює:

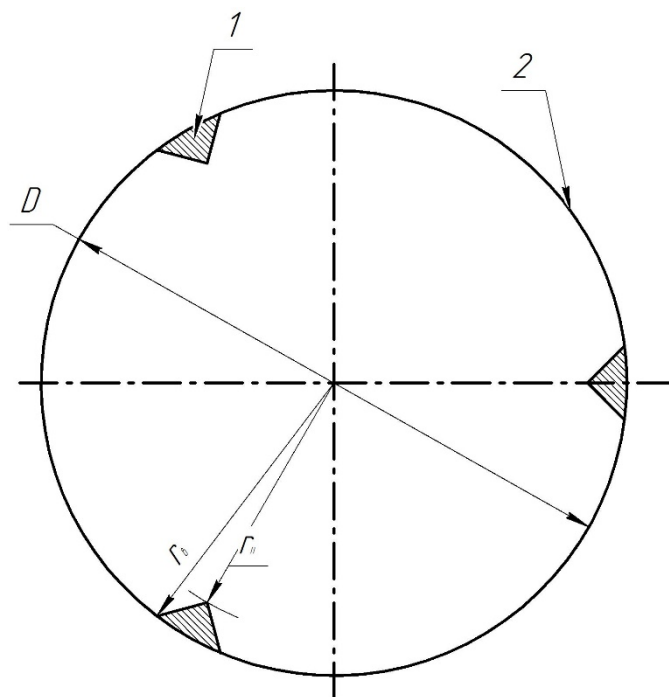
$$\partial W_{\text{кін}} = \frac{1}{2} \theta \omega^2, \quad (1.1.)$$

де  $\theta$  - момент інерції ( $\theta = \frac{\partial v p}{g}$ ), звідки  $\partial v = \omega \varphi \partial f$ ;  $\omega$  - кутова швидкість. Звідси вираз (1.1.) можна записати у такому вигляді:

$$\partial W_{\text{кін}} = \frac{\varphi \rho \partial \varphi \omega^2}{2g}. \quad (1.2.)$$

Оскільки кутова швидкість  $\omega = \frac{d\beta}{dt} = 2\pi n x$ , де  $n$  - частота обертання барабана, то, якщо підставити значення  $\omega$  та  $df$  у вираз (1.2.), його можна записати у такому вигляді:

$$\partial W_{\text{кін}} = 3,87 \varphi \rho h n^3 z r^3, \quad (1.3.)$$



Схематичне зображення барабана пральної машини

Внаслідок того, що  $x$  змінюється у діапазоні від  $r_b$  до  $r_n$ , інтегрування виразу (1.3.) в межах від  $x = r_b$  до  $x = r_n$  призведе до відомого рівняння роботи лопатей:

$$\partial W_{\text{кін}} = 3,87 \varphi \rho h n^3 z r (r_n - r_b), \quad (1.4.)$$

в якому  $z$  - кількість гребенів барабана.

Відомо, що значення опору  $F$ , що чинить рідина до ділянки  $df$ , визначається законом Ньютона і залежить від її площі  $S$  і швидкості, з якою вона рухається:

$$F = \xi S \frac{\omega^2}{2g},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт опору середовища, який залежить від площі ділянки гребеня. Його можна визначити через функцію  $Re$ , тобто:

$$\xi = f(Re) = f\left(\frac{nD^2\rho}{\mu}\right), \quad (1.5.)$$

де  $D$  – діаметр кола, який описує ділянку гребеня,  
 $n$  – частота обертання гребеня,  
 $\rho$  – щільність рідини,  
 $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину.

Визначити  $\xi$  можна розрахувавши елементарну роботу  $dN$ , яку виконує ділянка на подолання опору середовища:

$\partial N = \partial F \omega^2$ , звідки  $\partial F$ , у відповідності до закону Ньютона, буде дорівнювати  $\partial F = \xi 2 \partial f$ .

Якщо підставити значення  $df = h dx$  і  $\omega = 2\pi n x$  у наведений вираз, то його можна записати у вигляді:

$$\partial N = \xi \frac{(2\pi)^3 \rho n^3}{2g} h x^3 \partial x. \quad (1.6.)$$

Після інтегрування виразу у межах значень від  $x = r_b$  до  $x = r_n$ , то одержимо новий його вигляд:

$$N = \xi \frac{(2\pi)^3 \rho n^3}{2g} h \frac{r^4}{4}, \quad \text{звідки } r^4 = (r_n^4 - r_b^4), \quad (1.7.)$$

послідовне перетворення якого дає змогу записати рівняння сили опору рідини:

$$N = \xi K \rho n^3 r^5, \quad \text{у якому } K \text{ є безрозмірною величиною,} \\ \text{яка залежить від форми гребеня} \quad (1.8.)$$

$$a\xi = \frac{N}{K\rho n^3 d^5},$$

$$ad = 2r$$

Перепишемо ліву частину виразу (1.5.), яка зв'язує коефіцієнт  $\xi$  з критерієм Рейнольдса  $Re$ :

$$\frac{N}{K\rho n^3 d^5} = f\left(\frac{nD^2\rho}{\mu}\right). \quad (1.9.)$$

Одержана залежність може мати такий вигляд:

$$\frac{N}{\mu n^3 d^5} = A \left( \frac{n D^2 \rho}{\mu} \right)^{m+1} \quad (1.10.)$$

Звідки  $m + 1$  є постійною величиною, яка залежить від характеру поверхонь і може мати значення в межах  $0 \leq m + 1 \leq 1$ . Для такої типової конструкції значення дорівнює 0,78.

Таким чином, роботу, яка виконується елементарною ділянкою гребеня барабана, можна розрахувати за формулою:

$$\frac{N}{\mu n^3 d^5} = A \left( \frac{n D^2 \rho}{\mu} \right)^{0,78}, \text{ звідки } N = A d^{4,56} n^{2,78} \mu^{0,22} \rho^{0,78} \quad (1.11.)$$

Якщо у виразі (1.11.) не приймати до уваги параметри  $\mu$  і  $\rho$ , які характеризують властивості рідини, то енергетичні витрати, що пов'язані з переміщенням рідини гребенем або її активацією, залежатиме переважно від геометричних характеристик складових елементів барабана.

Отже, підвищення ступеня активації за рахунок зміни геометричних параметрів гребенів барабана істотно впливатиме на характер масообмінних процесів в системі «пральний бак – барабан».

Теоретичні основи формоутворення та впливу геометричних параметрів гребенів на якість прання наведено в [4]. Також, в [2] описано нестандартну конструкцію гребеня з інтенсифікаторами прямокутної форми, що, без сумніву максимально збільшує кут підйому білизни при попередньому та основному пранні, що позитивно впливає на показник відпирання, але суттєво підвищує швидкість зношування тканин. Така конструкція є ефективною в окремих випадках, але виключно для матеріалів та тканин, які мають високу міцність (наприклад натуральна або штучна шкіра) або пластичність (тканини з високим вмістом синтетичних волокон). Тому, гребені з інтенсифікаторами прямокутного перерізу використовувати в масовому виробництві побутових пральних машинах не доцільно.

**Висновки.** Таким чином, результати проведеного дослідження показують, що інтенсифікація механічного впливу на оброблення текстильних матеріалів в пральних машинах за рахунок зміни геометричної форми гребеня дозволяє підвищити якість відпирання. Водночас, зміна конструктивних особливостей гребеня є раціональною тільки з врахуванням характеристик відпираємих матеріалів різних типів, що необхідно для запобігання їх зношування та пошкодження. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку оптимальної універсальної форми гребеня з підвищеними характеристиками відпирання.

### 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. Воляник О. Ю. Дослідження руху матеріальної точки під дією інтенсифікаторів раціональної форми перерізу у барабанних пральних машинах. / О. Ю. Воляник, І. В. Петко // Українсько-польські наукові діалоги. – 2017. – С.172-173.
3. 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: Науковий журнал. – 2003. – №5, Ч. I. – С.30-32.
4. Усольцев О. М. Совершенствование рабочих органов барабанных стирально-отжимных машин: дис. канд. техн. наук: 05.02.13 / Усольцев Александр Михайлович. – М., 2003. – 194 с.
5. Алехин С. Н. Исследование параметров текстильных изделий при отжиге / С. Н. Алехин, И. В. Фетисов // Казанская наука. – 2011. – №2. – С. 23-25.

### References

1. Petko I. V., Burmistenkov O. P., Bila T. Y., Skyba M. Y. (2017). *Elektropobutova tekhnika* [Electrical household appliances]. Khmel'nyts'kyu: KhNU [in Ukrainian]
2. Volianyk O. Y., Petko I. V. (2017). *Doslidzhennya rukhu material'noyi tochky pid diyeyu intensyfikatoriv ratsional'noyi formy pererizu u barabannykh pral'nykh mashynakh* [Study of motion of a material point under the influence of intensifiers of rational shape of the section in drum washing machines]. *Ukrayinsko-polski naukovi dialogi – Ukrainian-Polish Science Dialogues*, 172-173 [in Ukrainian]
3. Petko I. V., Usol'tsev O. M. (2003). *Analiz mekhanichnoho vplyvu na material pid chas obrobky v barabani z hrebenyamy, shcho obertayet'sya* [Analysis of the mechanical influence on the material during processing in a rotating drum with rows]. *Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillya: Naukovyy zhurnal. – Bulletin of Technical University of Podillya: science magazine*, Vol. 5., Pt I, 30-32. [in Ukrainian].
4. Usol'tsev O. M. (2003). *Sovershenstvovanye rabochoykh orhanov barabannykh styal'no-otzhymnykh mashyn* [Improvement of working organs of drum washing and pressing machines]. *Candidates' thesis. Moscow* [in Russian].
5. Al'okhin S. N., Fetisov I. V. (2011). *Issledovanye parametrov tekstyl'nykh yzdelyu pry otzhyme* [Study of the parameters of textile products during spinning]. *Kazanskaya nauka – Kazan Science*, Vol. 2, 23-25. [in Russian].

**ПЕТКО ІГОР**

[petko.iv@knutd.edu.ua](mailto:petko.iv@knutd.edu.ua);

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**VOLIANYK OLEKSIY**

ResearcherID: I-7967-2018;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7278-0910>;

[oleksiivolianyk@gmail.com](mailto:oleksiivolianyk@gmail.com);

*Kyiv National University of Technologies and Design*

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННЫХ СТИРАЛЬНЫХ МАШИНАХ ВОЛЯНИК А.Ю., ПЕТКО И.В.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

*Цель. Исследовать процесс механического воздействия на текстильные материалы и обосновать возможность его интенсификации в бытовой стиральной машине.*

**Методика.** Рассмотрены методы взаимодействия тел во вращающемся механизме барабана стиральной машины при одновременном действии химических, тепловых и механических факторов.

**Результаты.** Проанализированы физические процессы интенсификации моющего раствора и влияние конструктивных параметров барабана на качество отстирывания материалов.

**Научная новизна.** Показано, что интенсификация процессов в барабане стиральной машины зависит от геометрической формы гребня и должна быть учтена при расчетах стиральных агрегатов, в частности, для улучшения энергоэффективности.

**Практическая значимость.** Полученные зависимости могут быть использованы при проектировании современных стиральных машин.

**Ключевые слова:** стиральная машина, гребень, обработка текстильных материалов.

## INTENSIFICATION OF MECHANICAL INFLUENCE AT PROCESSING TEXTILE MATERIAL IN A DRUM WASHING MACHINE VOLIANYK O., PETKO I.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** To study the process of mechanical influence on textile materials and to substantiate the possibility of its intensification in a household washing machine.

**Method.** The methods of interaction of bodies in a rotating mechanism of a drum of a washing machine with simultaneous action of chemical, thermal and mechanical factors are considered.

**Results** The physical processes of the intensification of the washing solution and the influence of the design parameters of the drum on the quality of material unpinning are analyzed.

**Scientific novelty.** It is shown that the intensification of processes in the drum of a washing machine depends on the geometric shape of the crest and should be taken into account when calculating the washing units, in particular, to improve energy efficiency.

**Practical significance.** The resulting dependencies can be used in the design of modern washing machines.

**Key words:** washing machine, comb, processing of textile materials.