

УДК 648.238

ВОЛЯНИК О. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ  
ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ В АВТОМАТИЧНІЙ  
ПРАЛЬНІЙ МАШИНІ**

**Мета.** Проведення експериментального дослідження впливу конструктивних параметрів гребенів барабану на інтенсивність відцентрового оброблення матеріалу в автоматичних побутових пральних машинах.

**Методика.** Використані методи оцінювання ефективності відпирання матеріалів легкої промисловості та математичні методи планування експериментів.

**Результати.** Проведено експериментальне дослідження впливу конструктивних параметрів гребенів барабана на інтенсивність оброблення матеріалу в режимі прання, з використанням математичних методів планування експерименту. В основу методу дослідження покладено принцип виявлення залежності величини показника ефективності відпирання зразків від тривалості виконання операції після досягнення певної температури нагріву миючого розчину, відповідно до чинних стандартів.

**Наукова новизна.** Проаналізовано та наведено параметри та показники, які необхідно враховувати при розробленні та підготовці експериментального дослідження інтенсифікації прання у побутових машинах. Використано рівняння регресії для визначення розрахункових значень показника ефективності відпирання зразків при обробці матеріалів легкої промисловості в режимі прання.

**Практична значимість.** У результаті проведеного експериментального дослідження були визначені найбільш значущі параметри, які впливають на ефективність відпирання матеріалів легкої промисловості у відцентрових машинах, а саме кут нахилу твірної поверхні гребеня барабану та його гребеня на обичайці відносно осі його обертання. Отримана експериментальна математична модель дослідження інтенсифікації оброблення матеріалів у відцентрових барабанних пристроях може бути використана при проектуванні відцентрових машин різного призначення.

**Ключові слова:** пральна машина, прання, гребінь, відцентровий барабан, повний факторний експеримент.

**Вступ.** Оброблення матеріалів в побутових пральних машинах це процес, який залежить від багатьох чинників, тому при розробленні сучасних конструкцій важливою є правильна підготовка та планування експериментальних досліджень. Відомі методики [1] повним чином не задовольняють додержання всіх вимог, які ставляться перед розробниками. Тому, у відповідності до досліджень впливу конструктивно-технологічних факторів на функціональні показники барабанних пральних машин [2, 3] можна визначити ряд ключових понять:

- із збільшенням тривалості проведення операції прання ефективність відпирання зростає, але швидкість процесу зменшується і для кожного рівня температури прання існує граничне значення ефективності відпирання ( $PS_{\text{гран}}$ );

- оптимізація процесу прання відносно тривалості визначається вибором температури нагрівання миючого розчину, після досягнення якої заданий рівень ефективності відпирання буде отримано при простому перемішуванні оброблюваних виробів за прийнятний проміжок часу, при цьому, найбільш ефективними є режими при температурі миючого розчину  $80^\circ$  і  $90^\circ$  С (для матеріалів, які відповідно до інструкцій не вимагають

особливих умов оброблення).

**Постановка завдання.** Для забезпечення найбільшої інтенсифікації об'ємного перемішування оброблюваного матеріалу завданням визначено вдосконалення конструкції гребенів барабана, для того, щоб в результаті отримувати якість відпирання, яка відповідає вимогам стандарту за найменший можливий проміжок часу після досягнення визначеної температури нагрівання миючого розчину. Завданням експериментальних досліджень при цьому стає визначення можливості скорочення тривалості оброблення до моменту отримання числового значення показника ефективності відпирання -  $O, \%$ , який відповідає ДСТУ 2721-94 [4], при зміні у гребенів барабана геометричної форми або їх положення на обичайці відносно осі обертання.

**Результати дослідження.** Для експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів гребенів барабана на інтенсивність оброблення в режимі прання запропонована методика, у відповідності до якої визначається зміна показника ефективності відпирання зразків -  $O, \%$  в залежності від тривалості виконання операції прання, при здійсненні оброблення в барабані з гребенями, геометричну форму яких та розташування на обичайці відносно осі обертання барабана можна змінювати. При цьому, визначення числових значень показника  $O, \%$  проводиться відповідно до вимог ДСТУ 2721-94.

Відповідно до існуючих математичних методів планування експерименту для проведення дослідження було обрано план повного факторного експерименту [5].

Для визначення зміни величини показника  $O, \%$  після досягнення прийнятої для досліджень температури нагріву миючого розчину, в ході здійснення оброблення матеріалу різними гребенями, необхідно провести трифакторний експеримент для моделі дослідження:

$$y = f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

де  $y$  - критерій оптимізації – визначена у кожному випадку величина показника відпирання  $O, \%$ ;

$x_1, x_2, x_3$  - фактори, які визначають виконання геометричної форми гребенів барабана, їх положення на обичайці, тривалість проведення досліджуваної операції оброблення.

До числа вхідних керуючих факторів моделі об'єкта дослідження віднесені параметри, які найбільш істотно впливають на об'ємне перемішування оброблюваного матеріалу в результаті обертання барабана в режимі прання, величину показника ефективності відпирання -  $O, \%$ :

$x_1 = \Delta = \alpha_L - \alpha_0$  - різниця кутів нахилу твірної поверхні гребеня в його крайніх по глибині барабана перерізах площиною, яка перпендикулярна осі обертання;

$x_2 = \beta$  - кут, що визначає положення гребеня на обичайці відносно осі обертання;

$x_3 = \tau$  - тривалість здійснення оброблення матеріалу в режимі прання після досягнення прийнятої температури нагріву миючого розчину (після відключення ТЕНу).

В якості основи плану експерименту використана матриця повного факторного експерименту (ПФЕ). Матрицю ПФЕ доцільно використовувати в якості плану другого порядку при числі факторів до  $k < 5$  (в нашому випадку  $k = 3$ ). Центральні точки будуюмо на

осях координат, на відстані  $l$  від нульової до центральної точки:

$$l = 2^{k/4} = 2^{3/4} = 1,682$$

Загальна кількість дослідів  $N$  визначається з умови [5]:

$$N = n_0 + n_j + n_0 \quad (2)$$

де  $n_0$  - число точок основи,  $n_0 = 2^k$ ;

$n_j$  - число центральних точок,  $n_j = 2 \cdot k$ ;

$n_0$  - число нульових точок,  $n_0 = 6$ .

$$N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 6 = 20$$

При складанні матриці планування враховувалися кодовані значення факторів, взаємозв'язок яких з натуральними виражається залежністю:

$$x_i = \frac{c_i - c_{0i}}{\varepsilon} \quad (3)$$

де  $x_i$  - кодоване значення  $i$ -го фактору;

$c_i$  - натуральне значення  $i$ -го фактору, яке відповідає поточному значенню;

$c_{0i}$  - натуральне значення  $i$ -го фактору, відповідне до нульового рівня;

$\varepsilon$  - натуральне значення інтервалу варіювання фактору ( $\Delta c$ ).

Вибір нульової точки, або нульового (основного) рівня факторів проводимо приймаючи таку нульову точку, якій відповідає значення параметра оптимізації, встановлене в результаті формалізації апріорної інформації. За нульові рівні факторів приймаємо:

$$\Delta_0 = \alpha_L - \alpha_0 = 30^\circ \text{ (при } \alpha_L = 40^\circ, \alpha_0 = 10^\circ); \beta_0 = 2^\circ; \tau_0 = 15 \text{ хв.}$$

Як діапазон і інтервал варіювання досліджуваних факторів приймаємо:

$$\Delta_0 = \alpha_L - \alpha_0 = (0^\circ \dots 60^\circ) \quad \beta_0 = 2^\circ$$

При цьому, значення кожного з цих досліджуваних параметрів ( $\Delta, \beta, \tau$ ), що визначають досліджуваний діапазон зміни його значень, приймалися виходячи з області варіативного діапазону зміни значень, в якій він має найбільший вплив. Для досліджень приймаємо температуру нагрівання миючого розчину  $t_{\text{м.розч}} = (90 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Значення факторів в центральних точках визначені з урахуванням залежності:

$$x_1 = \frac{\Delta - 30}{18}; x_2 = \frac{\beta - 2}{1,5}; x_3 = \frac{\tau - 15}{7,5}. \quad (4)$$

Побудовані матриця планування другого порядку для числа факторів  $k = 3$  і робоча матриця (табл.1.).

Таблиця 1.

**Матриця планування та робоча матриця**

№ досліджу	Матриця планування			Робоча матриця			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\Delta = \alpha_L - \alpha_0$ , град	$\beta$ , град	$\tau$ , хв	
1	+1		+1	+1	46	4	20
2	+1		+1	-1	46	4	10

Продовження таблиці 1

3	+1	-1	+1	46	2,5	20
4	+1	-1	-1	46	2,5	10
5	-1	+1	+1	14	4	20
6	-1	+1	-1	14	4	10
7	-1	-1	+1	14	2,5	20
8	-1	-1	-1	14	2,5	10
9	-1,682	0	0	0	2	15
10	+1,682	0	0	60	2	15
11	0	-1,682	0	30	0	15
12	0	+1,682	0	30	4	15
13	0	0	-1,682	30	2	5
14	0	0	+1,682	30	2	30
15	0	0	0	30	2	15
16	0	0	0	30	2	15
17	0	0	0	30	2	15
18	0	0	0	30	2	15
19	0	0	0	30	2	15
20	0	0	0	30	2	15

Рівняння регресії для визначення розрахункових значень критерію оптимізації  $\dot{y}$  - показника ефективності відпирання зразків при обробці текстильного матеріалу в режимі прання у відповідності до [4] в барабані з гребенями, для яких геометрична форма поверхонь, які взаємодіють з матеріалом і розташування гребенів на обичайці відносно осі обертання барабану, задається величинами параметрів  $x_1 = \Delta = \alpha_L - \alpha_0$  та  $x_2 = \beta$ , при здійсненні оброблення протягом проміжку часу  $x_3 = \tau$ , який вимірюється від моменту досягнення прийнятої температури нагріву миючого розчину (від моменту ввімкнення ТЕНу), може бути представлено в наступному вигляді:

$$\dot{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (5)$$

Де  $b_0$ , - вільний член;

$b_1, b_2, b_3$  - лінійні коефіцієнти (коефіцієнти, що характеризують лінійні ефекти);

$b_{11}, b_{22}, b_{33}$  - квадратичні коефіцієнти;

$b_{12}, b_{13}, b_{23}$  - коефіцієнти подвійної (парної) взаємодії факторів.

Для дослідження ефективності використання гребенів спіральної форми були проведені експериментальні дослідження з використанням математичних методів планування експерименту. Отримані відповідно до робочої матриці даної методики експериментальні значення показника ефективності відпирання зразків по ДСТУ 2721-94 ( $\dot{y}$ ) = 0, % наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Результати експериментальних досліджень відпирання матеріалу

№	Величина показника ( $\dot{y}$ ) = 0, %	№	Величина показника ( $\dot{y}$ ) = 0, %	№	Величина показника ( $\dot{y}$ ) = 0, %
1	61,4	8	56,9	15	59,2
2	58,3	9	55,7	16	59,7
3	62,0	10	60,2	17	58,4
4	59,3	11	59,5	18	60,5
5	59,9	12	58,5	19	58,2
6	57,6	13	56,3	20	59,5
7	59,5	14	61,0		

Отримані наступні значення коефіцієнтів рівняння регресії для значень показника ефективності відпирання зразків:

$$b_0 = 59,93347; b_1 = 1,07764; b_2 = -0,15001; b_3 = 1,68732;$$

$$b_{11} = -0,39885; b_{22} = 0,08938; b_{33} = -0,05349;$$

$$b_{12} = -0,484894; b_{13} = 0,09997; b_{23} = 0,03607.$$

Рівняння регресії після підстановки даних значень його коефіцієнтів набуває вигляду  

$$\dot{y} = 59,933 + 1,077x_1 - 0,150x_2 + 1,687x_3 - 0,398x_1x_2 + 0,089x_1x_3 + 0,053x_2x_3 - 0,484x_1^2 + 0,099x_2^2 - 0,036x_3^2$$

Перевірка значущості коефіцієнтів отриманого рівняння регресії відповідно показала, що незначущими з ймовірністю 0,95 є коефіцієнти  $b_2, b_{13}, b_{23}, b_{22}, b_{33}$ . Після відкидання незначущих коефіцієнтів, рівняння регресії для визначення розрахункових значень показника ефективності відпирання зразків набуває вигляду

$$\dot{y} = 59,933 + 1,077x_1 + 1,687x_3 - 0,398x_1x_2 - 0,484x_1^2$$

Перевірка адекватності (придатності) рівняння регресії за допомогою критерію Фішера показала, що прийнята математична модель з ймовірністю 0,95 адекватна (розрахункове значення критерію Фішера  $F_{\text{розрах}} = 1,073$  менше відповідного табличного значення  $F_{\text{табл}} = 4,75$ ).

Зробимо перехід до натуральних значень факторів:

$$O = 59,933 + 1,077 \frac{\Delta - 30}{18} + 1,687 \frac{\tau - 15}{7,5} - 0,398 \frac{(\Delta - 30)(\beta - 2)}{18 \cdot 1,5} - 0,484 \frac{(\Delta - 30)^2}{18^2}$$

Після перетворень отримаємо:

$$O = 51,959 + 0,00012\Delta^2 + 0,185\Delta - 0,017\Delta\beta + 0,528\beta + 0,320\tau$$

Перевіримо отримане рівняння регресії. Для цього підставимо чисельні значення факторів  $\Delta, \beta$  і  $\tau$ , наприклад, для дослідів №5:

$$O_5 = 51,959 + 0,00012 \cdot 14^2 + 0,185 \cdot 14 - 0,017 \cdot 14 \cdot 4 + 0,528 \cdot 4 + 0,320 \cdot 20 = 59,893$$

Похибка (відносна)  $\Delta O_5$  результатів визначення для заданих значень факторів розрахункової величини  $O_5$  - показника ефективності відпирання зразків  $O, \%$  і відповідного експериментального значення цього ж показника  $\bar{O}_5$  становить:

$$\Delta O_5 = \frac{O_5 - \bar{O}_5}{\bar{O}_5} \cdot 100\% = \frac{|59,893 - 59,9|}{59,9} \cdot 100\% = 1,1\%$$

де  $\bar{O}_5$  - значення показника, отримане в результаті експериментальних досліджень, взяте з табл.1.2 для досліджу № 5.

**Висновки.** Проведено експериментальне дослідження впливу конструктивних параметрів гребенів барабана на інтенсивність оброблення матеріалу в режимі прання з використанням математичних методів планування експерименту. Отримана експериментальна математична модель, яка описує взаємозв'язок чинників, що впливають на інтенсивність оброблення матеріалу в автоматичних пральних машинах. В результаті аналізу математичної моделі та отриманих експериментальних даних визначено, що найбільш значущими факторами, які впливають на ефективність відпирання матеріалу є конструктивні параметри гребеня (кут нахилу його твірної поверхні) та його положення на обичайці відносно осі обертання барабану.

Також, було встановлено виправданість прийнятих при складанні математичної моделі припущень та показана можливість використання отриманого рівняння регресії для інженерної практики аналізу впливу зміни конструктивних параметрів робочих частин барабанів на інтенсивність відцентрового оброблення матеріалу.

#### Література

1. Усольцев О. М. Совершенствование рабочих органов барабанных стирально-отжимных машин: дис. канд. техн. наук: 05.02.13 / Усольцев Александр Михайлович. – М., 2003. – 194 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: Науковий журнал. – 2003. – №5, Ч. I. – С.30-32.
3. Нагорный П. И. Влияние некоторых технологических и конструктивных параметров на функциональные и эксплуатационные характеристики барабанных автоматических стиральных машин / П. И. Нагорный, С. В. Орчинский // Новое в разработках и исследованиях электробытовых машин и приборов: Сб. научных трудов ВНИЭКИЭМП. – 1988. – С.41-49
4. ДСТУ 2721-94. Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.07.95. К.: Держстандарт України, 1994. – 108 с.
5. Монтгомери Д. Планирование эксперимента и анализ данных. – Ленинград: Судостроение, 1980. — 384 с.
6. Петко І. В. Електропобутова техніка / І. В.

#### References

1. Usol'tsev O. M. (2003). Sovershenstvovanye rabochykh orhanov barabannikh styral'no-otzhymnykh mashyn [Improvement of working organs of drum washing and pressing machines]. Candidates' thesis. Moscow [in Russian].
2. 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].
3. Nagorniy P. T., Orchinskiy S. V. (1988). *Vliyaniye nekotorykh tekhnologicheskikh i konstruktivnykh parametrov na funktsionalnie i eksluatacionnie kharakteristiki stiralnykh mashin* [The effect of some technological and design parameters on the functional and operational characteristics of automatic drum washing machines]. *Sbornik nauchnikh trudov VNIKIEMP, 41-49.* [in Russian].
4. DSTU 2721-94. *Mashyny pralni pobutovi. Zagalni tekhnichni umovy* [State Standard 2721-94. Household washing machines. General technical conditions]. Kyiv, *Derzhstandart Publ., 1995. 108 p.*
5. Montgomery, D. (1980) *Planirovanie eksperimenta i analiz dannykh* [Experiment planning and data analysis]. Leningrad [in Russian].
6. Petko I. V., Burmistenkov O. P., Bila T. Y., Skyba M.

Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.

7. 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.

8. 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.

9. Гузенко Ю. М. Барабан прально-віджимної машини. Патент України на корисну модель №UA88018 від 25.02.14, Бюл. №4.

10. 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. - 3с.

Y. (2017). *Elektropobutova tekhnika* [Electrical household appliances]. Khmel'nyts'kyu: KhNU [in Ukrainian]

7. 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]

8. Orchinsky S. V. Usoltsev A. M., Isaenko I. I. (1989). *Vliyaniye geometrii grebney barabana stiralnoy mashini na yeye funktsionalniye pokazateli* [Influence of the geometry of the paddle of the drum of the washing-press machine on its functional and operational parameters]. *Production and technical experience. - CSTI "Search"*, Vol. 8., 99-101.

9. Guzenko Yu. M. Drum of a washing-machine. Patent of Ukraine for Utility Model №UA88018 of February 25, 14, Bull. №4

10. A. s. 986993 USSR, MKI D 06 F 37/04. Drum for a washing-press machine. L. V. Melnik - №3211113 / 29-12; Published 07/01/83, Bul. №1.

**VOLIANYK O.**

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

ResearcherID:I-7967-2018

Kyiv National University of Technologies & Design

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛА В СТИРАЛЬНЫХ МАШИНАХ ВОЛЯНИК А. Ю.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Проведение экспериментального исследования влияния конструктивных параметров гребней барабана на интенсивность центробежного обработки материала в автоматических бытовых стиральных машинах.

**Методика.** Использованные методы оценки эффективности отстирывания материалов легкой промышленности и математические методы планирования экспериментов.

**Результаты.** Проведено экспериментальное исследование влияния конструктивных параметров гребней барабана на интенсивность обработки материала в режиме стирки с использованием математических методов планирования эксперимента. В основу метода исследования положен принцип выявления зависимости величины показателя эффективности отстирывания образцов от продолжительности выполнения операции по достижении определенной температуры нагрева моющего раствора, в соответствии с действующими стандартами.

**Научная новизна.** Проанализированы и приведены параметры и показатели, которые необходимо учитывать при разработке и подготовке экспериментального исследования интенсификации стирки в бытовых машинах. Использовано уравнение регрессии для определения расчетных значений критерия оптимизации - показателя эффективности отстирывания образцов при обработке материалов легкой промышленности в режиме стирки.

**Практическая значимость.** В результате проведенного экспериментального исследования были определены наиболее значимые параметры, которые влияют на эффективность отстирывания материалов легкой промышленности в центробежных машинах, а именно угол наклона образующей поверхности гребня барабана и его гребня на обечайке относительно оси его вращения. Показана экспериментальная математическая модель исследования интенсификации обработки материалов в центробежных барабанных устройствах может быть использована при проектировании центробежных машин различного назначения.

**Ключевые слова:** стиральная машина, стирка, гребень, центробежный барабан полный факторный эксперимент.

## THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MATERIAL PROCESSING INTENSITY IN THE AUTOMATIC WASHING MACHINE

VOLIANYK O.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Conducting an experimental study of the influence of the structural parameters of the drum crests on the intensity of centrifugal material processing in automatic household washing machines.

**Methodology.** The methods used to evaluate the efficiency of washing light industry materials and the mathematical methods of experiment planning.

**Results.** An experimental study of the influence of the design parameters of the drums' paddles on the intensity of the material processing in washing mode, using mathematical methods of experiment planning. The basis of the research method is the principle of detecting the dependence of the magnitude of the efficiency of the washing of the samples on the duration of the operation after reaching a certain temperature of the heating of the washing solution, in accordance with the current standards.

**Scientific novelty.** The parameters and indicators that need to be taken into account during the development and preparation of the experimental study of the intensification of washing in household machines are analyzed and presented. The regression equation was developed for determination of the calculated values of the optimization criterion - an indicator of the washing efficiency of samples in the processing of light industry materials during the washing mode.

**Practical significance.** As a result of the experimental study, the most significant parameters that influence the efficiency of washing light industry materials in centrifugal machines were determined, namely the angle of inclination of the surface of the paddle of the drum and location of its paddle on the shell relative to the axis of its rotation. An experimental mathematical model of the study of the intensification of material processing in centrifugal drum devices is shown. It can be used in the design of centrifugal machines of various applications.

**Key words:** washing machine, washing, crest, centrifugal drum, full-factor experiment.