

УДК 621.927.36

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВИГУНА ЖОРНОВОЇ КАВОМОЛКИ АВТОМАТИЧНОЇ КАВОМАШИНИ

Чагін А. Д., Кулік Т. І., Гладчук О. З.

Київський національний університет технологій і дизайну

**Мета.** *Визначення оптимальних параметрів процесу подрібнення кавових зерен у кавомолці, які забезпечать задану якість та ступень помелу кави.*

**Методика.** *Основою роботи є експериментальні методи досліджень. Якість помелу кави досліджувалася візуально, а для кількісної оцінки був використаний ситовий аналіз.*

**Результати.** *Запропоновано технічне рішення по вдосконаленню роботи автоматичної кавомашини.*

**Наукова новизна.** *Встановлено основні фактори, що впливають на якість помелу кавових зерен в кавомолках автоматичних кавомашин. Розроблено методику дослідження кавомолки.*

**Практична значимість.** *Встановлено оптимальне значення швидкості обертів жорен кавомолки, що забезпечує максимальну якість помелу кави.*

**Ключові слова:** *автоматична кавомашина, жорнова кавомолка, якість помелу кави, оптимізація, кількість обертів, експеримент*

На сьогоднішній день у всьому світі приготування кави стало дуже популярним явищем, як у домашньому побуті, офісах, так і у сфері сервісів для приготування кави. Все більшої популярності набувають автоматичні кавомашини, які самостійно подрібнюють необхідну кількість кавового зерна, відміряють порцію, утрамбовують, заварюють та наливають в чашку вже готову каву, відкидаючи використану сировину в контейнер для відходів. Участь людини обмежується лише вибором міцності кави і обсягом порції [1, 2].

Однією з найбільш поширених проблем при приготуванні кавових напоїв у кавомашинах є незадовільна якість кави, пов'язана з неправильним помелом кавових зерен. Смак кавового напою залежить від розмірів помелених частинок і однорідності помелу кави.

Дроблення на частини та перетирання зерна збільшує площу контакту частинок кави з водою, прискорює перехід розчинних речовин і суспензій у воду, робить напій більш насиченим та ароматним. Кожна чашка кавового напою містить близько 98-98,5% води і лише 1,5-2% кавових речовин і частинок. Чим дрібніший помел, тим більшою буде площа контакту кави з водою і тим швидше відбудуватиметься перехід речовин у воду при інших рівних параметрах.

Зазвичай кавомолка дає деякий відсоток дрібних, середніх і великих частинок. За час, поки середні частки оптимально передають свої речовини в воду, дрібні частинки переекстрагуються, що веде до появи негативної гіркоти в напої, а великі не встигнуть передати всі речовини, не екстрагуються, що формує негативну кислотність, «недозрілість» в напої. Другий позитивний результат однорідності помелу – економічний. При більш однорідному помелі забезпечується вища екстрактивність речовин, що дозволяє приготувати насичену якісну чашку напою, використовуючи меншу кількість меленої кави, не втрачаючи якість.

Отже, дослідження режимів роботи двигуна кавомолки та її жорен є актуальним завданням, яке дозволить визначити оптимальні параметри приладу, такі як частота обертання двигуна та відстань між жорнами для забезпечення якісного помелу кави.

### ***Постановка завдання***

Об'єктом дослідження є технологічний процес приготування кави в автоматичних кавомашинах. Предмет дослідження – жорнова кавомолка автоматичної кавомашини, основними робочими органами якої є конічні жорна, колекторний двигун змінного струму та циліндричний одноступеневий редуктор.

Метою роботи є дослідження жорнової кавомолки автоматичної кавомашини для визначення оптимальних параметрів процесу подрібнення кавових зерен, що забезпечать задану якість та ступень помелу кави.

Для досягнення поставленої мети у роботі були вирішені такі задачі:

- досліджено конструкцію жорнової кавомолки, що входить до складу кавової машини;
- встановлено основні фактори, що впливають на якість помелу кавових зерен в кавомолках автоматичних кавомашин;
- проведені експериментальні дослідження впливу конструктивних параметрів кавомолки та параметрів процесу перемелювання на ступінь однорідність помелу кавових зерен;
- розроблено рекомендації по вибору оптимальних параметрів процесу перемелювання кави у кавомолках автоматичних кавомашин.

### ***Результати досліджень***

У жорнових кавомолках зерна кави перемелюються двома дисками – жорнами, один з яких обертається, а другий – нерухомий. На відміну від ударних кавомолок,

жорнові кавомолки дозволяють отримати більш якісний помел кави, крім того, вони дозволяють регулювати ступінь помелу. Жорнові кавомолки технологічно складніші, ніж кавомолки ударної дії, тому вони мають значно вищу ціну.

Конструкція жорнової кавомолки, що входить до складу кавової машини, представлена на рис. 1 [3]. Зерна перемелюються двома жорнами, одне з яких обертається, а інше нерухоме. На рис. 1. схематично показано корпус 1, виготовлений, наприклад, з пластикового матеріалу, оснащений входом 2, для прийому кавових зерен і елементу 3 випускного фланцю для меленої кави. Встановлений в корпус 1 шліфувальний комір 4 зроблений із металевого матеріалу. Оснащена інструментом (рухомим жорном) 5, та нерухомим жорном 6. Шліфувальний блок додатково забезпечений вхідним живильним гвинтом 7. Редуктор 8 кріпиться до центрального гвинтового елемента, який знаходиться в рухомому жорні, та зв'язаний з приводним валом двигуна 9.

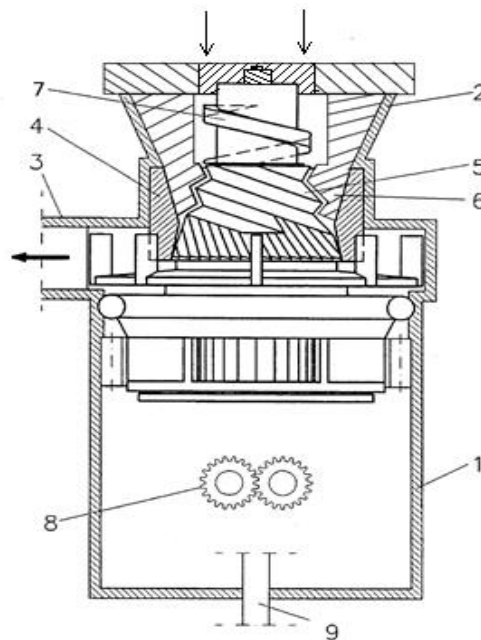


Рис. 1. Конструкція механізму конічної жорнової кавомолки:  
1 – корпус; 2 – вхід для прийому кавових зерен; 3 – випускний фланець для меленої кави; 4 – шліфувальний комір; 5 – конічне рухоме жорно; 6 – нерухоме жорно; 7 – вхідний живильний гвинтовий елемент; 8 – редуктор; 9 – приводний вал

Для дослідження режимів роботи кавомолки був розроблений лабораторний стенд на базі автоматичної кавомашини ARIETE моделі 1326 DELUXE MIRAGE (рис. 2).



Рис. 2. Лабораторний стенд з автоматичною кавомашиною, яка містить жорнову кавомолку

Частота обертання жорен вимірювалась за допомогою датчика тахометра, який кріпився до гайки кавомолки через муфту. Керування частотою обертів виконувалось за допомогою лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Тривалість процесу подрібнення кавових зерен вимірювалась за допомогою секундоміра. Якість помелу оцінювалась за допомогою ситового аналізу – визначення гранулометричного складу подрібнених матеріалів просіюванням через набір стандартних сит з отворами різних розмірів.

Дослідження проводилося з урахуванням часу помелу та відстані між жорнами, які в процесі експерименту підтримувалася на сталому рівні. При цьому розглядалися два випадки:

- відстань між жорнами складала 0,5 мм для отримання дрібного помелу кави, необхідного для приготування напою еспресо;
- відстань між жорнами складала 1 мм для отримання середнього помелу, призначеного для приготування традиційної кави.

На першому етапі були проведені досліди, що дозволили попередньо оцінити якість помелу кави залежно від швидкості обертання жорен. Змінюючи кількість

обертів двигуна, подрібнили 5 порцій кави. В результаті візуального огляду було встановлено, що найбільш однорідний помел має зразок кави, отриманий при швидкості  $n = 850$  об/хв.

Для кількісної оцінки якості помелу виконувалося подрібнення кавових зерен при стандартній швидкості обертання жорен, яка була закладена виробником кавомашини ( $n = 500$  об/хв.) та при швидкості, встановленій у попередньому досліді ( $n = 850$  об/хв.). Для кожного досліді було використано 70 грам кавових зерен.

#### Оцінювання якості при дрібному помелі

В середньому на одну порції кавового напою використовується 7-9 грам зерен. У рамках експерименту було виконано помел при швидкості обертання жорен від 400 до 900 об/хв. Результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

#### Оцінювання якості кави при дрібному помелі

№	$n$ , об/хв	$l$ , мм	$t$ , с	$Y_1$ , %	$I$ , А
1	400	$\approx 0,5$	2	74,9	0.38
2	450	$\approx 0,5$	2	75,2	0.39
3	550	$\approx 0,5$	2	76,1	0.39
4	600	$\approx 0,5$	2	77,6	0.4
5	650	$\approx 0,5$	2	78,2	0.41
6	700	$\approx 0,5$	2	79,8	0.42
7	800	$\approx 0,5$	2	80,5	0.43
8	900	$\approx 0,5$	2	80,3	0.43

За допомогою аналітичного сита було визначено однорідність помелу кавового порошку, отриманого при відстані між жорнами 0,5 мм. У кожному досліді знаходили масу меленої кави у відсотках, яка просіялася через сито з діаметром комірки 0,5 мм:

$$Y_{1n} = m_1 * \frac{100}{m_2}$$

$$Y_{11} = 6,741 * \frac{100}{9} = 74,9 \% ;$$

$$Y_{15} = 7,038 * \frac{100}{9} = 78,2 \% ;$$

$$Y_{12} = 6,768 * \frac{100}{9} = 75,2 \% ;$$

$$Y_{16} = 7,092 * \frac{100}{9} = 78,8 \% ;$$

$$Y_{13} = 6,849 * \frac{100}{9} = 76,1 \% ;$$

$$Y_{17} = 7,119 * \frac{100}{9} = 79,1 \% ;$$

$$Y_{14} = 6,984 * \frac{100}{9} = 77,6 \% ;$$

$$Y_{18} = 7,227 * \frac{100}{9} = 80,3 \% .$$

За отриманими результатами побудовано графік (рис. 3) якості помелу кави в залежності від швидкості обертання жорен.

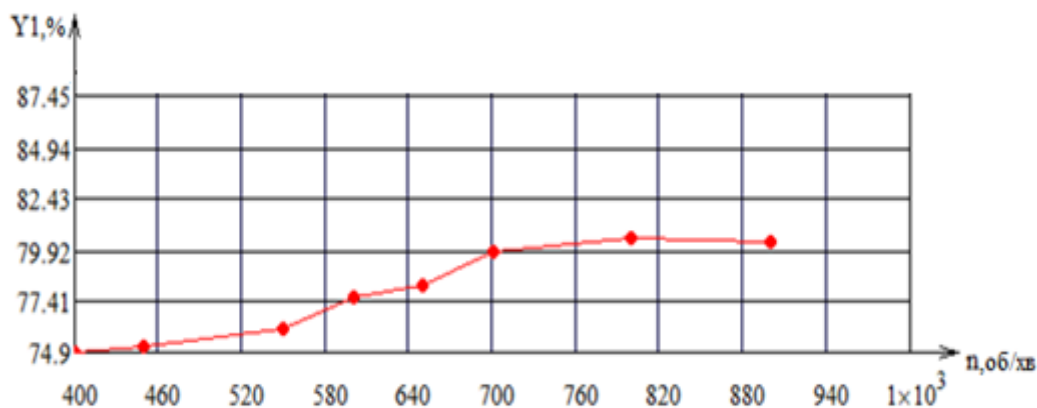


Рис. 3. Залежність якості помелу кави від швидкості обертання жорен при дрібному помелі (відстань між жорнами  $l \approx 0,5$  мм)

З графіка можна бачити, що при збільшенні кількості обертів однорідність помелу зростає. Проте при досягненні значення швидкості 750-850 об/хв. даний показник практично не змінюється при подальшому збільшенні обертів, однорідність помелу залишається майже на сталому рівні. Отже, збільшення швидкості вище цих значень не є доцільним.

#### Оцінювання якості при середньому помелі

Дослідження проводилися аналогічно дрібному помелу, а їх результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2

#### Оцінювання якості кави при середньому помелі

№	$n$ , об/хв	$l$ , мм	$t$ , с	$Y_2$ , %	$I$ , А
1	400	$\approx 1$	2	76,7	0.39
2	450	$\approx 1$	2	77,2	0.39
3	550	$\approx 1$	2	78,3	0.39
4	600	$\approx 1$	2	78,5	0.4
5	650	$\approx 1$	2	79,3	0.41
6	700	$\approx 1$	2	80,2	0.42
7	800	$\approx 1$	2	81,7	0.43
8	900	$\approx 1$	2	81,5	0.43

Знаходилась маса меленої кави у відсотках, яка просіялася через сито з діаметром комірки 1 мм:

$$Y_{21} = 6,903 \cdot \frac{100}{9} = 76,7 \% ;$$

$$Y_{25} = 7,137 \cdot \frac{100}{9} = 79,3 \% ;$$

$$Y_{12} = 6,768 \cdot \frac{100}{9} = 75,2 \% ;$$

$$Y_{26} = 7,218 \cdot \frac{100}{9} = 80,2 \% ;$$

$$Y_{23} = 7,047 \cdot \frac{100}{9} = 78,3 \% ;$$

$$Y_{27} = 7,353 \cdot \frac{100}{9} = 81,7 \% ;$$

$$Y_{24} = 7,065 \cdot \frac{100}{9} = 78,5 \% ;$$

$$Y_{28} = 7,335 \cdot \frac{100}{9} = 81,5 \% .$$

В результаті дослідів побудовано графік якості помелу кави, в залежності від швидкості обертів жорен (рис. 4).

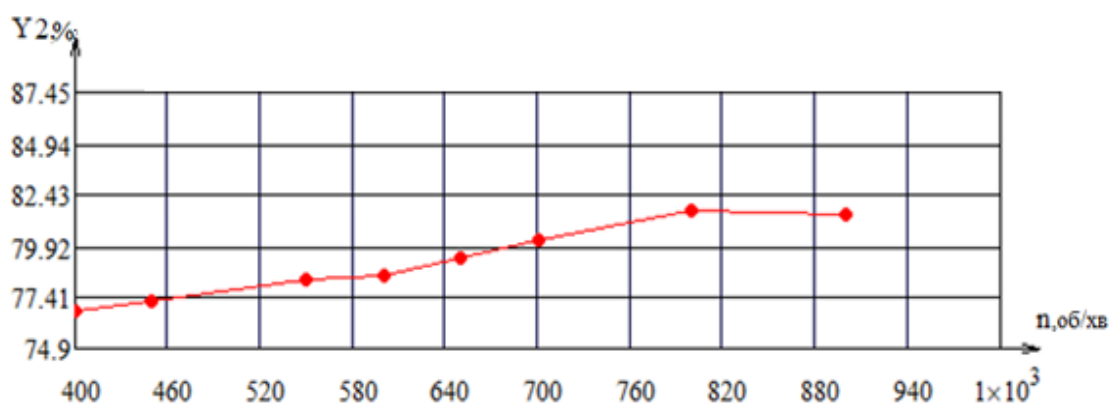


Рис. 4. Залежність якості помелу кави від швидкості обертання жорен при середньому помелі (відстань між жорнами  $l \approx 1$  мм)

З рис. 4 можна бачити, що при збільшенні обертів однорідність помелу зростає. При  $n = 800-900$  об/хв., однорідність помелу досягає максимального значення та майже не змінюється при подальшому зростанні швидкості. Тому можна вважати, що діапазон  $n = 800-900$  об/хв. є найефективнішим.

Оцінювання якості помелу кави, отриманої при широкому діапазоні зміни швидкості обертання жорен

Результати досліджень наведені в табл. 3. Були використані два ступеня помелу: середній та дрібний.

Таблиця 3

**Оцінювання якості кави при значній різниці між обертами**

№	n, об/хв	l, мм	t, с	Y3, %	I, А
1	700	$\approx 1$	2	79,7	0.42
2	900	$\approx 0.5$	2	80,5	0.43
3	1000	$\approx 0.5$	2	80,1	0.43
4	1200	1	2	80,6	0.44

За результатами експерименту, представленими у табл. 3 побудовано графічну залежність (рис. 5) якості помелу кави від швидкості жорен.

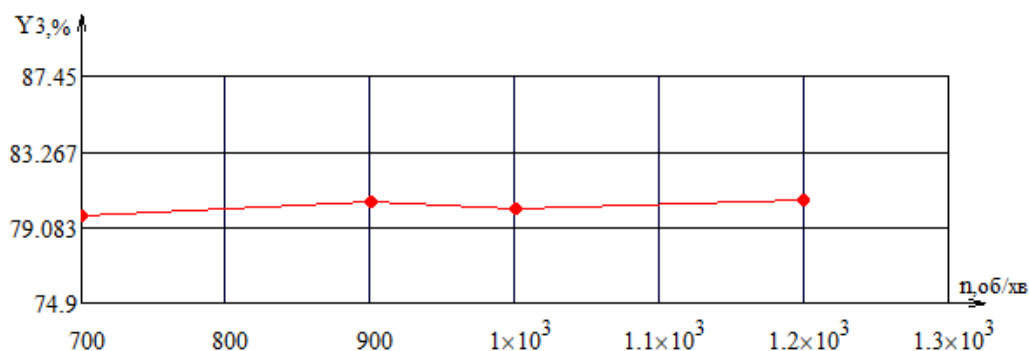


Рис. 5. Залежність якості помелу кави від швидкості обертання жорен при  $l \approx 0,5$  мм та  $l \approx 1$  мм

На рис. 5 можна бачити, що якість помелу при збільшенні обертів з  $n=800$  об/хв до  $n=1200$  об/хв якість помелу майже не змінюється. З даного експерименту робимо висновок, що при встановленні обертів вище, ніж 900 об/хв однорідність помелу не змінюється.

Порівняння якості помелу кави при стандартних ( $n = 500$  об/хв.) та рекомендованих ( $n = 850$  об/хв.) значеннях швидкості жорен.

Для кожного дослідження було використано 70 грам зерен. Задавалися оберти, які були визнані найефективнішими в результаті попередніх досліджень  $n = 850$  об/хв., та стандартні оберти  $n = 500$  об/хв.

Результати наведені в табл. 4.

Таблиця 4

**Порівняння якості помелу кави при стандартних та рекомендованих обертах жорен кавомолки для великого обсягу кавових зерен**

№	$t, c$	$l, mm$	$n, об/хв$	$Y4, \%$	$I, A$
1	$\approx 18$	0,5	500	77,5	0,46
2	$\approx 18$	1	500	77,9	0,46
3	$\approx 18$	0,5	850	80,1	0,5
4	$\approx 18$	1	850	81,6	0,5

Визначалася маса меленої кави у відсотках, яка просіялася через сито з діаметром комірок  $\approx 0,5$  та  $\approx 1$  мм:

Середня якість помелу при стандартних та рекомендованих обертах:

$$Y_{4c} = \frac{Y_{4_1} + Y_{4_2}}{2} ; \quad Y_{4c} = \frac{77,9 + 77,5}{2} = 77,7 \% ;$$



$$Y_{4p} = (83,5+81,6)/2 = 82,85 \% .$$

Отже, якість помелу при рекомендованій швидкості  $n = 850$  об/хв. на 5,15 % вища, ніж при стандартній швидкості базової моделі  $n = 500$  об/хв.

### Висновки

У результаті дослідження встановлено оптимальне значення частоти обертання жорен кавомолки, яке забезпечує максимальну якість мелених кавових зерен. Згідно результатів дослідження однорідність помелу кавових зерен при рекомендованій швидкості 850 об/хв складає 82,85 % від загальної маси, у той час, як при стандартній швидкості жорен 500 об/хв однорідність помелу складала 77,7 %. Це свідчить про те, що в жорнових кавомолках кінчного типу якість помелу вдалося підвищити на 5,15 %, порівняно з базовою моделлю, запропонованою виробником.

### Список використаних джерел

1. Лир Э. В. Электробытовые машины и приборы / Э. В. Лир, И. В. Петко. – К. : Техника, 1990. – 190 с.
2. Петко І. В. Основи електропобутової техніки: навч. пос. / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла. – К. : КНУТД, 2013. – 239 с.
3. Розмелюючий вузол для кавового млинка і кавомашина з таким млинком [Електронний ресурс]. Режим доступу : [findpatent.ru/patent/245/2457769.html](http://findpatent.ru/patent/245/2457769.html)

### References

1. Lir, E.V. & Petko, I.V. (1990). *Elektrobytovye mashiny i pribory* [Household electrical appliances]. Kiev: Tehnika [in Russian].
2. Petko, I.V., Burmistenkov, O.P. & Bila T.Ya. (2013). *Osnovy elektropobutovoyi tehniky* [Basics of electrical appliances]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
3. Rozmelyuyuchy vuzol dlya kavovoho mlynka i kavomashyna z takim mlynkom [Grinding knife for a coffee grinder and coffee machine with this grinder]. Retrieved from [findpatent.ru/patent/245/2457769.html](http://findpatent.ru/patent/245/2457769.html)

**Chagin Andriy**  
[ev1denceq@gmail.com](mailto:ev1denceq@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Kulik Tetyana**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1006-7853>  
[t-81@ukr.net](mailto:t-81@ukr.net)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design  
**Gladchuk Olexandr**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9921-0299>  
[anubisvip76@gmail.com](mailto:anubisvip76@gmail.com)  
Kyiv National University of  
Technologies and Design

***Исследование работы двигателя жерновой кофемолки автоматической кофемашины******Чагин А. Д., Кулик Т. И., Гладчук О. З.****Киевский национальный университет технологий и дизайна****Цель.*** Определение оптимальных параметров процесса измельчения кофейных зерен в кофемолке, которые обеспечат заданное качество и степень помола кофе.***Методика.*** Основой работы являются экспериментальные методы исследований. Качество помола кофе исследовалась визуально, а для количественной оценки был использован ситовой анализ.***Результаты.*** Предложено техническое решение по усовершенствованию работы автоматической кофемашины.***Научная новизна.*** Установлены основные факторы, влияющие на качество помола кофейных зерен в кофемолках автоматических кофемашин. Разработана методика исследования кофемолки.***Практическая значимость.*** Установлено оптимальное значение скорости вращения жерновов кофемолки, что обеспечивает максимальное качество помола кофе.***Ключевые слова:*** автоматически кофемашина, жерновая кофемолка, качество помола кофе, оптимизация, количество оборотов, эксперимент***Research of the operation of the engine of a millstone coffee grinder in automatic coffee machine******Chagin A. D., Kulik T. I., Gladchuk O. Z.****Kyiv National University of Technology & Design****Purpose.*** Determination of the optimal parameters of the grinding process of coffee beans in a coffee grinder, which will provide the specified quality and degree of grinding coffee.***Methodology.*** The basis of the work are experimental research methods. The quality of the grinding of coffee was examined visually, and for the quantitative assessment was used sieve analysis.***Findings.*** A technical solution to improve the operation of an automatic coffee machine..***Originality.*** The main factors affecting the quality of grinding coffee beans in coffee grinders of automatic coffee machines are established. Developed a method for the study of coffee grinders.***Practical value.*** The optimum value of the rotation speed of the grinders of the grinder, which ensures maximum quality grinding coffee..***Keywords:*** coffee machine, millstone coffee grinder, coffee grinding quality, number of rotate, experiment