

УДК 681.518.22

doi:10.20998/2413-4295.2023.04.05

ВИКОРИСТАННЯ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ КАВОВОЇ МАШИНИ

О. С. ОПРИШКІН

кафедра інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА
e-mail: Aleksandr.Opryshkin@cit.khpi.edu.ua

АНОТАЦІЯ Стабільність роботи кавової машини зазвичай пов'язують зі стабільністю потоку кави при приготуванні напою. Кава готується, коли гаряча вода під тиском проходить крізь шайбу з кавовим порошком. Швидкість потоку напою може змінюватися для різних екстракцій, що змушує бариста змінювати налаштування кавомолки. Ступінь помелу є одним з найважливіших факторів, що впливають на швидкість потоку напою. У роботі представлено результати експериментальних досліджень з визначення швидкості потоку кави та масової витрати при приготуванні напою. Для експерименту було обрано три партії кави від різних виробників (UAB «Kavos bankas», Литва; Jacobs Douwe egberts, Нідерланди; Caffè Carraro SpA, Італія). Кожна партія була протестована із використанням 12 екстракцій. Кожна з екстракцій була отримана із щойно змеленої кави. Боби були подрібнені за допомогою професійної плоскої кавомолки з одними і тими ж самими налаштуваннями. Було запропоновано новий спосіб утворення кавової шайби, який дав більш стабільний, з точки зору швидкості потоку результат, ніж звичайний спосіб закладання меленої кави (з використанням шайби із однорідної сировини). Представлено результати, які підтверджують, що новий спосіб здатний знизити чутливість кавової машини до варіації властивостей кавового зерна (різні виробники, різні пакети із одної партії). Наведено результати проведеної перевірки гіпотези про відсутність порушень стабільності масової витрати кави за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (рівність середніх значень), лінійного регресійного аналізу (на відсутність впливу часу на величину показника на кожній виборці), коваріаційного аналізу (відсутність розходжень у функціональному впливі часу на величину стабільності швидкості потоку кави). Надано рекомендації для бариста з використання запропонованого методу.

Ключові слова: дисперсійний аналіз; коваріаційний аналіз; регресійний аналіз; масова витрата; швидкість потоку; зерно кави

USING STATISTICAL ANALYSIS TO CONTROL THE STABILITY OF THE COFFEE MACHINE

O. OPRYSHKIN

Department of of information and measuring technologies and systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The stability of the coffee machine is usually associated with the stability of the flow of coffee during the preparation of the drink. Coffee is prepared when hot water under pressure passes through a washer with coffee powder. The flow rate of the beverage can vary for different extractions, forcing the barista to change the grinder settings. The degree of grinding is one of the most important factors affecting the flow rate of the drink. The paper presents the results of experimental studies on the determination of the coffee flow rate and mass consumption during the preparation of the drink. For the experiment, three batches of coffee from different producers were chosen (UAB "Kavos bankas", Lithuania; Jacobs Douwe egberts, the Netherlands; Caffè Carraro SpA, Italy). Each batch was tested using 12 extractions. Each of the extractions was obtained from freshly ground coffee. The beans were ground using a professional flat grinder with the same settings. A new method of forming a coffee washer was proposed, which gave a more stable result, in terms of flow rate, than the usual method of laying ground coffee (using a washer made of homogeneous raw materials). The results are presented, which confirm that the new method is able to reduce the sensitivity of the coffee machine to variations in the properties of coffee beans (different manufacturers, different packages from the same batch). The results of testing the hypothesis about the absence of violations of the stability of the mass consumption of coffee using one-factor variance analysis (equality of average values), linear regression analysis (on the absence of influence of time on the value of the indicator in each sample), covariance analysis (absence of discrepancies in the functional influence of time on the value of stability of the coffee flow rate). Recommendations for baristas on using the proposed method are provided.

Keywords: variance analysis; covariance analysis; regression analysis; mass flow rate; flow rate; coffee bean.

Вступ

У роботах [1-4] зазначено, що головним завданням для підвищення смакових властивостей напою є збільшення питомої поверхні екстракції, а

саме збільшення поверхні між водою та кавою і полегшення переходу розчинних та емульгуючих речовин у напій. У момент екстракції частково виділяються кофеїн та інші біологічно активні сполуки, кількість яких варіюється залежно від

технології заварювання та якості початкової сировини [5].

Розмелені кавові зерна можна характеризувати розмірами гранул, що мають складну форму і розмір. Самий високий пік гранули називається «першим модальним», а самий низький пік називається «другим модальним». Діаметр частинок може змінюватись від кількох мікрометрів до 1000 мкм [1]. Хімічно активні сполуки, що входять до складу кави, швидко розчиняються у воді і надають напою особливого смаку та аромату. У світі існують багато методів заварювання, кожен з яких потребує подрібнення зерна кави до частинок встановленого розміру [5]. Дослідження екстракції кави показують, що різні методи заварювання (наприклад еспресо) [4] вимагають певного розподілу розміру частинок [5].

Оскільки кава еспресо є одним із найпопулярніших кавових напоїв у світі, то саме цьому методу присвячено багато публікацій [1,3,6]. Метод використовує перепад тиску для подачі гарячої води (90 ± 5 °C) через ущільнену і пресовану обсмажену мелену каву для вилучення хімічних речовин та отримання неповторного, особливого смаку. Екстракція кави є динамічним процесом та її оптимальна швидкість потоку становить 30 г за 30 с [6]. У роботі [7] встановлено, що для приготування ідеальної порції еспресо необхідно використати на одну чашку $7 \pm 0,5$ г помеленої кави, тиск води у кавовій машині має становити 9 ± 1 бар, час екстракції 25 ± 5 с, а об'єм у чашці кінцевого продукту треба щоб був 25 ± 5 мл. Ці ствердження співпадають із попередніми дослідженнями. Практичними дослідженнями доведено, що швидкість потоку кави спочатку низька через опір помеленої сировини воді, яка проходить крізь неї, але збільшується по мірі просування екстракції. При цьому розмір часток меленої кави та їх розподіл мають вирішальне значення при визначенні швидкості потоку. Встановлено [1,5], що короткий час екстракції можна отримати, якщо використовувати каву крупного помелу. Оскільки різний розмір помелу впливає на сипкість порошку, хімічний склад та органолептичні властивості напою [2,3] то і розподіл розміру частинок кавового порошку суттєво впливає на якість будь якого з рецептів кави [5].

Щоб приготувати порцію напою треба необхідну кількість меленої кави завантажується у кошик із фільтром, який має форму відкритої чашки. Дно фільтра має мікроперфорацію.

Існує певна залежність між швидкістю потоку та розподілом частинок кави за розмірами. Кава, що приготовлена із великої кількості дрібних частинок, готується довше через повільну швидкості потоку у порівнянні із приготуванням з порошку, де є велика кількість крупних частинок, при тому ж часі екстракції. Мінливість розподілу частинок меленої кави за розмірами суттєво вплинула на швидкість

перколяції, вміст кофеїну, вміст твердих речовин, рН та кислотність [5,6].

Об'єкт дослідження – статистичні методи аналізу стабільності швидкості потоку кави при приготування напою.

Предмет дослідження – є новий спосіб утворення кавової шайби як засіб стабілізувати швидкість потоку напою.

Мета роботи

На практиці кожен бариста регулює кавомолку, таким чином, щоб отримати розмір частинок, який забезпечує правильну швидкість потоку і оптимальний смак напою. Регулювання потрібне, бо часто використовуються різні марки кави або інші упаковки однієї і тієї ж марки, але частіше за все це відбувається через умови навколишнього середовища та умови експлуатації. На розподіл часток за розмірами впливають умови навколишнього середовища, фізичних властивостей зерна і типу кавомолки. Таким чином, одне із завдань дослідження полягає у тому, щоб зменшити варіабельність швидкості потоку між екстракціями за рахунок розробки нового методу закладання кави у кошик з фільтром.

Іншим завданням є порівняння точності результатів вимірювань швидкості потоку кави у різних умовах. Наприклад, виникає задача порівняння точності результатів вимірювань швидкості потоку кави, що отримані при використанні кавових зерен від різних виробників.

Мета роботи – експериментально підтвердити те, що запропонований спосіб утворення кавової шайби дає більш стабільний з точки зору швидкості потоку результат, ніж звичайний спосіб закладання меленої кави (з використанням однорідної сировини) і те, що він здатний знизити чутливість кавової машини до варіації властивостей кавового зерна (різні виробники, різні пакети із одної партії).

Основна частина

Для проведення експерименту було обрано три партії кави від різних виробників (UAB «Kavos bankas» Каунас, Литва; Jacobs Douwe egberts, Амстердам, Нідерланди; Caffè Carraro SpA, Італія). Кожна партія була протестована із використанням 12 екстракцій. Кожна з екстракцій була отримана із щойно змеленої кави. Боби подрібнювали за допомогою професійної плоскої кавомолки (EK43 Mahlkönig AG, Швейцарія) з одними і тими ж самими налаштуваннями. Усього було виконано 36 екстракцій за допомогою кавової машини фірми DeLonghi ECP 35.31 (Італія). Загальна кількість порошку у порції становила 10 г. У кошику фільтра кава закладалася у два шари порошку (крупний помел і дрібний помел), які були отримані шляхом зміни вручну відстані між подрібнюючими пластинами

кавомолки. Кожен із шарів складався з 5 г кавового порошку. Ці шари були розташовані в кошику фільтра один над другим. Нижній шар характеризувався великими частинками, а верхній шар характеризувався дрібними частинками (рис. 1).

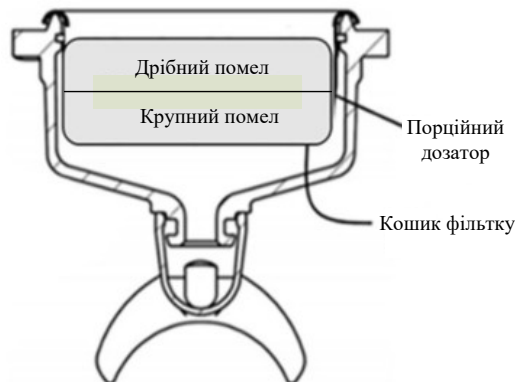


Рис. 1 – Зображення розподілу часток кави за розміром у два шари

Була також протестована зворотна стратифікація (великі частинки вгорі та дрібні внизу). Однак при такому розташуванні шарів витік кави стає проблемним. Це пов'язано з тим, що дрібна частка помеленої кави потрапляла у маленький отвір для виходу розчину кави із порційного дозатору і перекривала його.

У роботах [7,8] зазначено, що витратою потоку Q ($\text{м}^3/\text{с}$) називається об'єм рідини, який протікає за одиницю часу через живий переріз потоку:

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (1)$$

де W – об'єм рідини в м^3 , який протікає за час t в секундах (хвилинах, годинах) через живий переріз потоку [7,8].

Середня швидкість потоку V , $\text{м}/\text{с}$, визначається за допомогою формули [7,8]:

$$V = \frac{Q}{\omega}, \quad (2)$$

Середня швидкість зв'язана з місцевими швидкостями u в окремих точках живого перерізу співвідношеннями:

$$V = \int \omega(u) d\omega / \omega. \quad (3)$$

Середня швидкість потоку необхідна для обчислення масової витрати кави.

Масова витрата може бути обчислена через густину речовини, площу перетину потоку і середню швидкість потоку у цьому перетині [7,8]:

$$Q_m = \rho \cdot V \cdot S, \quad (4)$$

де Q_m – масова витрата; ρ – густина речовини (густина кави: $600 - 650 \text{ кг}/\text{м}^3$); V – середня швидкість потоку кави, $\text{м}/\text{с}$; S – площа перетину потоку кави, м^2 .

При напірному русі в трубі круглого перерізу з внутрішнім діаметром d гідравлічний радіус буде дорівнювати:

$$R = \frac{D}{4}, \quad (5)$$

тобто чвертині діаметра, або половині радіуса труби [8].

Для кавової машини фірми DeLonghi ECP 35.31 (Італія) площа перетину потоку кави буде визначатися наступним чином: оскільки вихід кави у чашку йде із двох рижків діаметром 10 мм, тоді:

$$R = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ мм}; \quad S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 2,5^2 = 19,63 \text{ мм}^2;$$

$$2 \cdot S = 2 \cdot 19,63 = 39,27 \text{ мм}^2 = 3,927 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

У роботі [6] пропонується використовувати три шари кави різного помелу для створення шайби. Проведені дослідження показали, що при наступних параметрах екстракції: температура води 92°C та тиск води 9 бар із 15 г кавового порошку отримана швидкість потоку 30 г за 30 с. У публікації [6] шари кави були зібрані кожен із 5 г кавового порошку. Нижній шар характеризувався великими частинками, середній – середнім розміром частинок, а верхній шар характеризувався дрібними частинками. Але таке розміщення шарів виявилось на практиці дуже незручним і складно реалізованим, тому авторами даної роботи пропонується використовувати два шари замість трьох: перший – кава крупного помелу, а другий – кава дрібного помелу.

Початкові умови експерименту: 30 мл кави = $= 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ (одна порція); $\omega = 3,927 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$; $S = 3,927 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ (оскільки вихід кави у чашку йде із двох рижків); $W = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$; $\rho = 630 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Результати експерименту по визначенню швидкості потоку кави та масової витрати відповідно до формул (1)-(5) для традиційного способу розміщення меленої кави у один шар зведені у табл. 1.

Автори дослідження [6] спостерігали різницю у відхиленні масової витрати кави у діапазоні від 1 до 14 % і зазначили, що це пов'язано із ступенем помелу зерна. При цьому межа фіксованого допуску на відхилення масової витрати становить $\pm 15\%$. Отже, подрібнення професійними кавомолками, наприклад, тими, які зазвичай використовуються в кав'ярнях, може мати дуже різні результати.

На підставі результатів наведених у табл. 1 можна зробити висновок, що помелена кава марки

Caffè Carraro SpA показала 26 % відхилення від результату – 1 г/с, що може бути пов'язано із щільністю зерні і його вологістю. Кава двох інших виробників показала масову витрату у встановлених межах допуску (< 15 %).

Наступним експериментом визначимо швидкості потоку кави та масову витрату відповідно до формул (1)-(5) для запропонованого варіанту розміщення меленої кави у два шари. Результати експерименту зведені у табл. 2.

Таблиця 1 – Результати експерименту для одного шару кави

№ екст	<i>Kavos bankas</i>			<i>Jacobs Douwe egberts</i>			<i>Caffè Carraro SpA</i>		
	Час екстр, с	Швидкість потоку, м/с	Масова витрата, г/с	Час екстр, с	Швидкість потоку, м/с	Масова витрата, г/с	Час екстр, с	Швидкість потоку, м/с	Масова витрата, г/с
1	29,86	0,042935	1,055	27,73	0,046233	1,136	25,36	0,050554	1,242
2	30,05	0,042664	1,048	27,51	0,046603	1,145	25,3	0,050674	1,245
3	30,1	0,042593	1,047	27,665	0,046342	1,139	25,34	0,050594	1,243
4	29,82	0,042993	1,056	27,46	0,046688	1,147	25,72	0,049846	1,225
5	29,95	0,042806	1,052	27,485	0,046645	1,146	24,96	0,051364	1,262
6	30	0,042735	1,05	27,525	0,046578	1,144	25,03	0,051221	1,258
7	29,69	0,043181	1,061	27,54	0,046552	1,144	25,07	0,051139	1,256
8	29,5	0,043459	1,068	27,68	0,046317	1,138	24,98	0,051323	1,261
9	29,1	0,044057	1,082	27,49	0,046637	1,146	24,96	0,051364	1,262
10	29,9	0,042878	1,054	27,46	0,046688	1,147	25,05	0,05118	1,257
11	30,05	0,042664	1,048	27,605	0,046443	1,141	25,2	0,050875	1,25
12	29,53	0,043415	1,067	27,495	0,046629	1,146	24,97	0,051344	1,262

Таблиця 2 – Результати експерименту для двох шарів кави

№ екст	<i>Kavos bankas</i>			<i>Jacobs Douwe egberts</i>			<i>Caffè Carraro SpA</i>		
	Час екстр, с	Швидкість потоку, м/с	Масова витрата, г/с	Час екстр, с	Швидкість потоку, м/с	Масова витрата, г/с	Час екстр, с	Швидкість потоку, м/с	Масова витрата, г/с
1	29,96	0,042792	1,051	29,83	0,042979	1,046	28,99	0,044224	1,087
2	29,74	0,043109	1,059	29,91	0,042864	1,053	29,32	0,043726	1,074
3	29,51	0,043445	1,067	30,11	0,042579	1,046	28,84	0,044454	1,092
4	29,83	0,042979	1,056	30,21	0,042438	1,043	28,92	0,044331	1,089
5	29,95	0,042806	1,052	30,09	0,042607	1,047	29,23	0,043861	1,078
6	30,1	0,042593	1,047	30,22	0,042424	1,042	29,15	0,043981	1,081
7	30,05	0,042664	1,048	29,94	0,042821	1,052	28,96	0,04427	1,088
8	29,95	0,042806	1,052	29,99	0,042749	1,05	28,98	0,044239	1,087
9	29,91	0,042864	1,053	30,15	0,042522	1,045	29,21	0,043891	1,078
10	29,98	0,042764	1,051	30,02	0,042707	1,049	29,03	0,044163	1,085
11	30,04	0,042678	1,049	29,98	0,042764	1,051	29,26	0,043816	1,077
12	30,14	0,042537	1,045	29,94	0,042821	1,052	28,99	0,044224	1,087

Проведемо перевірку гіпотези про відсутність порушення стабільності масової витрати кави при виготовленні напою у кавовій машині методом однофакторного дисперсійного аналізу. Метод однофакторного дисперсійного аналізу полягає у перевірці за критерієм F нульової гіпотези H_0 про рівність факторної й залишкової дисперсій [9,10].

У якості показника контролю обираємо масову витрату кави – Q_M . У процесі вимірювань були отримані вибірки значень цього показника, отримані вибірки V_j . Введемо позначення \bar{Q}_M – середнє значення результатів спостереження R , отже \bar{Q}_{Mj} – середнє значення j -ї вибірки. Висунемо гіпотезу: $H_0: H_0: \bar{Q}_{M1} = \bar{Q}_{M2} = \dots = \bar{Q}_{M1k} = \bar{Q}_M$ – процес не має порушень, тоді цілком справедливе рівняння:

$$Q_{Mji} = \bar{Q}_M + \alpha_j + e_{ji}, \quad (6)$$

де α_j – відхилення, що викликане впливом фактору; e_{ji} – випадкове відхилення в j -ї групі, для i -го спостереження [9,10].

Модель (6) це якісна однофакторна модель дисперсійного аналізу.

Було проведено обробку даних про масову витрату кави, які були отримані для запропонованого варіанту розміщення меленої кави у два шари. Данні зведемо до табл. 3. Задаємо бажану надійність висновку $-P = 0, 95$.

Таблиця 3 – Вихідні дані

i , екстракція	Значення масової витрати, г/с		
	Вибірка V_1	Вибірка V_2	Вибірка V_3
1	1,051	1,046	1,087
2	1,059	1,053	1,074
3	1,067	1,046	1,092
4	1,056	1,043	1,089
5	1,052	1,047	1,078
6	1,047	1,042	1,081
7	1,048	1,052	1,088
8	1,052	1,05	1,087
9	1,053	1,045	1,078
10	1,051	1,049	1,085
11	1,049	1,051	1,077
12	1,045	1,052	1,087
$\bar{Q}_{Mгp j}$	1,0525	1,0488	1,0835

Середнє значення за трьома представленими вибірками: $\bar{Q}_M = 1,068$ г/с.

За результатами проведеного однофакторного дисперсійного аналізу встановлено, що гіпотеза про рівність математичних очікувань генеральних сукупностей не підтверджується, отже не підтверджується й гіпотеза про рівність факторної й залишкової дисперсій.

Було проведено перевірку гіпотези про відсутність порушення стабільності масової витрати кави за допомогою лінійного регресійного аналізу (на відсутність впливу часу на величину показника по кожній з трьох вибірок) Графічне відображення прямої регресії вибірки V_1 представлено на рис. 2.

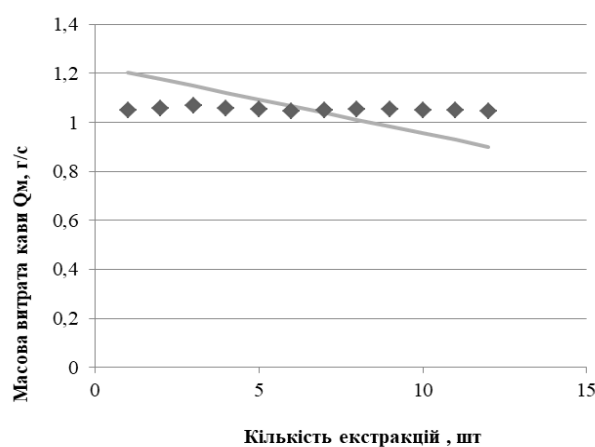


Рис. 2 – Графічне зображення прямої регресії вибірки V_1

Для перевірки гіпотези про відсутність порушень стабільності масової витрати кави у часі за допомогою регресійної моделі аналізу необхідно розрахувати значення коефіцієнту парної кореляції Ω^2 . Коефіцієнт парної кореляції визначається за формулою:

$$\Omega^2 = \frac{cov^2(Q_M \cdot t)}{G_{Q_M} \cdot G_t}, \quad (7)$$

де $G_{Q_M} = \sqrt{\sigma_{Q_M}}$, $G_t = \sqrt{\sigma_t}$, $cov^2(Q_M \cdot t)$ – коваріація між Q_M і t .

$$F = \frac{\Omega^2}{1 - \Omega^2} (n - 2). \quad (8)$$

Із табл. 7, яка наведена у [11], 5 %-ні крапки F – розподілу обираємо $F_{кр}$, що дорівнює $F_{кр} = F_{1,(n-2),\alpha}$. Якщо $F < F_{кр}$, то гіпотеза про стабільність процесу підтверджується.

Графічне відображення прямої регресії вибірки V_2 представлено на рис. 3.

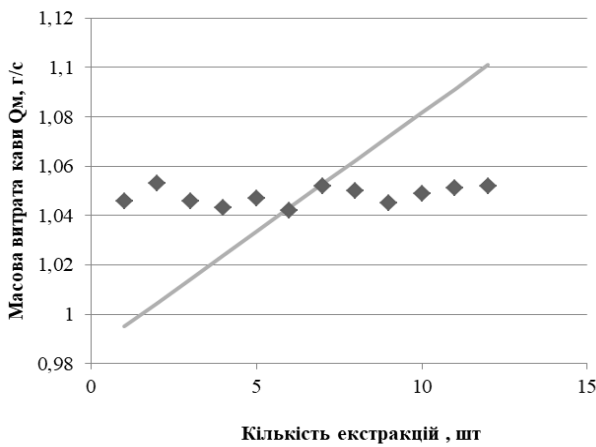


Рис. 3 – Графічне відображення прямої регресії вибірки V_2

Графічне відображення прямої регресії вибірки V_3 представлено на рис. 4.

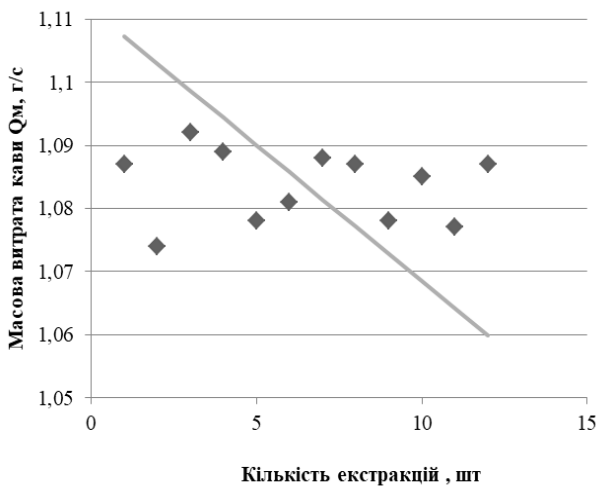


Рис. 4 – Графічне відображення прямої регресії вибірки V_3

Для усіх трьох вибірок умова $F < F_{кр}$ про стабільність масової витрати кави у часі від екстракції до екстракції підтвердилася.

Було проведено перевірку гіпотези про відсутність порушення стабільності масової витрати кави за допомогою коваріаційного аналізу (відсутність розходжень у функціональному впливі часу на величину показника контролю Q_m).

Проводити коваріаційний аналіз можливо лише як мінімум для трьох регресій. При цьому є можливість перевірити одну основну гіпотезу та кілька альтернативних [10-12]:

- I) $H_0 : b = 0$;
- II) $H_1^{(1)} : a_1 = \dots = a_k \quad b_1 = \dots = b_k$;
- III) $H_1^{(2)} : b_1 = \dots = b_k$;
- IV) $H_1^{(3)} : a_1 \neq \dots \neq a_k \quad b_1 \neq \dots \neq b_k$.

$$\Sigma = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Q_{mji} - \bar{Q}_m)^2 = \Sigma_0 + \Sigma_{ab} + \Sigma_{зал} ,$$

де $\Sigma_0 = \omega_0 + b_0^2$;

$$\Sigma_{зал} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Q_{mji} - \hat{Q}_m)^2 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Q_{mji} - a_j - b_j \cdot t_{ji})^2 ;$$

$$\omega_0 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t})^2 ;$$

$$b_0 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Q_{mji} \cdot t_{ji} - \bar{Q}_m \cdot \bar{t}}{\frac{1}{N} \omega_0} ;$$

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} t_{ji} , \text{ де } i = \overline{1, n_j}, \quad j = \overline{1, k} \text{ [10-12].}$$

I) гіпотеза: $F_0 = \frac{\bar{\Sigma}_0}{\bar{\Sigma}_{зал}}$.

З табл. 7 [11] 5 %-ні крапки F – розподілу обираємо $F_{кр}$, що дорівнює:

$$F_{кр} = F_{1, (N-2k), \alpha} .$$

Якщо умова $F_0 > F_{кр}$ виконується, то говорять, що процес стабільності порушено.

II) гіпотеза: $F_1 = \frac{\bar{\Sigma}_{ab}}{\bar{\Sigma}_{зал}}$.

У такому випадку $F_{кр}$ знаходиться із умови, що $F_{кр} = F_{2(k-1), (N-2k), \alpha}$, і якщо $F_1 > F_{кр}$, то це говорить про наявність викривлень у представленій вибірці.

I. $F_0 = \frac{\bar{\Sigma}_0}{\bar{\Sigma}_{зал}} = \frac{429}{219,04} = 1,95$.

З табл. 7 [11] 5 % крапок F -розподілу вибираємо $F_{кр}$, рівне:

$$F_{кр} = F_{1, (N-2k), \alpha} = F_{1, 6, 0,05} = 4,49 .$$

Оскільки $F_0 < F_{кр}$, то це говорить про те, що процес масової витрати кави стабільний.

$$II. F_1 = \frac{\bar{\Sigma}_{ab}}{\bar{\Sigma}_{зал}} = \frac{435,82}{219,04} = 1,99.$$

У цьому випадку, вибираємо $F_{кр}$, що дорівнює $F_{2(k-1), (N-2k), \alpha}$.

Виберемо із табл. 7 [11] 5 % крапок F -розподілу $F_{кр} : F_{кр} = F_{4,6,0.05} = 4,28$.

Оскільки $F_1 < F_{кр}$, то це говорить про те, що викривлень у представленій виборці немає.

Результати

На підставі проведеного експериментального дослідження отримати наступні результати:

1) експериментально доведено, що запропонований метод здатний знизити чутливість кавової машини до варіації властивостей кавового зерна (різні виробники, різні пакети із одної партії).

2) виконано перевірку гіпотези про відсутність порушень стабільності масової витрати кави при приготуванні напою у кавовій машині із зерна від різних виробників за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу, лінійного регресійного аналізу і коваріаційного аналізу, яка була підтверджена.

Висновки

Вирішено задачу експериментального підтвердження того, що запропонований спосіб утворення кавової шайби дає більш стабільний з точки зору швидкості потоку результат, ніж звичайний спосіб закладання меленої кави, а також те, що він здатний знизити чутливість кавової машини до варіації властивостей кавового зерна.

Наукова новизна результатів є у тому, що:

– запропоновано новий спосіб закладання кави у кошик із фільтром у два шари: нижній шар утворюється із кави крупного помелу, а верхній – із дрібного. Завдяки використанню двошарового розподілу помеленої кави вдалося стабілізувати масову витрату у встановлених межах допуску (< 15 %);

– експерименти підтвердили, що запропонований спосіб утворення кавової шайби дає більш стабільний з точки зору швидкості потоку результат, ніж звичайний спосіб закладання меленої кави (з використанням однорідної сировини).

Практична цінність представленої роботи полягає у тому, що запропонований спосіб може бути використано баристами на практиці при масовому обслуговуванні відвідувачів кафе і кав'ярень.

Перспективи подальших досліджень полягають у продовженні проведення експериментів на інших марках кави від різних виробників.

Список літератури

- Masella P., Guerrini L., Spinelli S., Calamai L., Spugnoli P., Illy F., Parenti A. A new espresso brewing method. *J Food Eng.* 2015. Vol. 146. P. 204–208. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.09.001.
- Doğan M., Aslan D., Gurmeric V., Ozgur A., Goksel Sarac M. Powder caking and cohesion behaviours of coffee powders as affected by roasting and particle sizes: Principal component analyses. *PCA for flow and bioactive properties. Powder Technol.* 2019. Vol. 344. P. 222–232. doi: 10.1016/j.powtec.2018.12.030.
- Salamanca C. A., Fiol N., Gonzalez C., Saez M., Villaescusa I. Extraction of espresso coffee by using gradient of temperature Effect on physicochemical and sensorial characteristics of espresso. *Food Chem.* 2017. Vol. 214. P. 622–630. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.120.
- Apiletti D., Pastor E. Correlating Espresso. Quality with Coffee-Machine Parameters by Means of Association Rule Mining. *Electronics.* 2020. Vol. 9. P. 100. doi:10.3390/electronics9010100.
- Опришкін О. С., Григоренко І. В., Кондрашов С. І., Григоренко С. М. Аналіз впливу розподілу помелених часток зерна кави на швидкість потоку при приготуванні напою. *XVII Міжнар. наук. – практ. конф. магістрів та аспірантів: Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених.* Харків: НТУ «ХПІ». 2023. С. 357.
- Angeloni G., Guerrini L., Masella P. et al. Test of an innovative method to prepare coffee powder puck, improving espresso extraction reliability. *Eur Food Res Technol.* 2022. Vol. 248. P. 163–170. doi:10.1007/s00217-021-03868-x.
- Константинов Ю. М., Гіжа О. О. *Технічна механіка рідини і газу: Підручник.* Київ. Вища школа, 2002. 277 с.
- Кулінченко В. Р. *Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: Підручник.* Київ. Фірма «Інкос», Центр навчальної літератури, 2006. 616 с.
- Григоренко І. В., Кондрашов С. І., Григоренко С. М. Використання комбінації методів статистичного аналізу для контролю якості роботи датчика ваги KELI QS-D у системі зважування автотранспорту. *Метрологія та прилади.* 2021. № 1 (87). С. 42–48.
- Hryhorenko I., Tverytnykova E., Hryhorenko S., Demidova Yu. The usage of statistical analysis methods for controlling the operational stability of gas treatment facility. *Ukrainian metrological journal.* 2021. № 1. P. 26–32.
- Kendall M. G., Stuart A. *The Advanced Theory of Statistics: Design and Analysis, and Time-Series. Second Edition.* Charles Griffin And Company Limited. London, 1973. 736p.
- Yefymenko S., Hryhorenko I., Hryhorenko S. Dispersion Analysis in Colorimetric Control. *Український метрологічний журнал.* 2023. № 2. С. 28–32. doi:10.24027/2306-7039.2.2023.286715.

References (transliterated)

1. Masella P., Guerrini L., Spinelli S., Calamai L., Spugnoli P., Illy F., Parenti A. A new espresso brewing method. *J Food Eng*, 2015, Vol. 146, pp. 204–208, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.09.001.
2. Doğan M., Aslan D., Gurmeric V., Ozgur A., Goksel Sarac M. Powder caking and cohesion behaviours of coffee powders as affected by roasting and particle sizes: Principal component analyses. *PCA for flow and bioactive properties. Powder Technol*, 2019, Vol. 344, pp. 222–232, doi: 10.1016/j.powtec.2018.12.030.
3. Salamanca C. A., Fiol N., Gonzalez C., Saez M., Villaescusa I. Extraction of espresso coffee by using gradient of temperature Effect on physicochemical and sensorial characteristics of espresso. *Food Chem*, 2017, Vol. 214, pp. 622–630, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.120.
4. Apiletti D., Pastor E. Correlating Espresso. Quality with Coffee-Machine Parameters by Means of Association Rule Mining. *Electronics*, 2020, Vol. 9, pp. 100, doi:10.3390/electronics9010100.
5. Opryshkin O. S., Hryhorenko I. V., Kondrashov S. I., Hryhorenko S. M. Analiz vplyvu rozpodilu pomelenykh chastok zerna kavy na shvydkist potoku pry pryhotuvanni napoyu [Analysis of the influence of the distribution of ground coffee grain particles on the flow rate during beverage preparation]. *XVII International of science - practice conf. Masters and PhD students: Theoretical and practical research of young scientists*. Kharkiv: NTU „KhPI”, 2023, p. 357.
6. Angeloni G., Guerrini L., Masella P. et al. Test of an innovative method to prepare coffee powder puck, improving espresso extraction reliability. *Eur Food Res Technol*, 2022, Vol. 248, pp. 163–170, doi:10.1007/s00217-021-03868-x.
7. Konstantinov Y. M., Hizha O. O. *Tekhnichna mekhanika ridyny i hazu: Pidruchnyk [Technical mechanics of liquids and gases: Textbook]*. Kyiv. Vyshcha shkola, 2002, 277 p.
8. Kulichenko V. R. *Hidravlika, hidravlichni mashyny i hidropryvid: Pidruchnyk [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drive: Textbook]*. Kyiv. Firma ‘Inkos’, 2006, 616 p.
9. Hryhorenko I. V., Kondrashov C. I., Hryhorenko S. M. Vykorystannya kombinatsiyi metodiv statystychnoho analizu dlya kontrolyu yakosti roboty datchyka vahy KELI QS-D u systemi zvazhuvannya avtotransportu [Using a combination of statistical analysis methods to control the quality of the KELI QS-D weight sensor in the vehicle weighing system]. *Metrolohiya ta prylady [Metrology and devices]*, 2021, no. 1 (87), pp. 42–48.
10. Hryhorenko I., Tverytnykova E., Hryhorenko S., Demidova Yu. The usage of statistical analysis methods for controlling the operational stability of gas treatment facility. *Ukrainian metrological journal*, 2021, no. 1, p. 26-32.
11. Kendall M. G., Stuart A. *The Advanced Theory of Statistics: Design and Analysis, and Time-Series*. Second Edition. *Charles Griffin And Company Limited*. London, 1973, 736p.
12. Yefymenko S., Hryhorenko I., Hryhorenko S. Dispersion analysis in colorimetric control. *Ukrainian metrological journal*, 2023, no. 2, pp. 28–32, doi:10.24027/2306-7039.2.2023.286715.

Відомості про автора (About author)

Опришкін Олександр Сергійович – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: 0009-0008-7094-5129; e-mail: Aleksandr.Opryshkin@cit.khpi.edu.ua

Opryshkin Aleksandr – Postgraduate student, Department of Information and Measuring Technologies and Systems National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0008-7094-5129; e-mail: Aleksandr.Opryshkin@cit.khpi.edu.ua

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Опришкін О. С. Використання статистичного аналізу для контролю стабільності роботи кавової машини. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 4 (18). С. 36-43. doi:10.20998/2413-4295.2023.04.05.

Please cite this article as:

Opryshkin O. Using statistical analysis to control the stability of the coffee machine. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU «KhPI», 2023, no. 4 (18), pp. 36-43, doi:10.20998/2413-4295.2023.04.05.

*Надійшла (received) 05.11.2023
Прийнята (accepted) 13.12.2023*