

УДК 66.067:663.8

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE FILTERING PROCESS DURING CLARIFICATION OF KOMBUCHA BEVERAGE

S. Udodov, R. Savchuk, O. Chepeliuk, O. Chepeliuk*National University of Food Technologies*

Key words:

kombucha,
filtration,
pore size,
modeling

Article history:

Received 05.09.2024

Received in revised form
04.10.2024

Accepted 09.10.2024

Corresponding author:

almeat@ukr.net

ABSTRACT

In the production of fermented beverages made for the trade network, low temperatures without mixing can be used to reduce the number of microorganisms in finished products, which promotes yeast sedimentation. At the same time, sedimentation hardly reduces the number of bacteria. The long sedimentation process in production is replaced by filtration.

The study aims to substantiate the rational operation modes of a filter with cardboard filter elements measuring 200×200 mm for clarifying a fermented beverage such as Kombucha. The research was carried out using physical (production experiment) and computational modeling methods in the Solid Works, Flow Simulation application.

The expedient duration of the filtration process and the quality of the clarified beverage significantly depend on the pore size of the filtration carton. When using the Colombo 18 filter, the recommended pore size of the filter carton is 10 microns. Under these conditions, the quality of the beverage does not change, and it is possible to preserve its marketable condition and extend its storage period. The filter productivity, determined by the volumetric method, changes slightly, by 18.7%, within 1.5 hours of operation, then decreases sharply from 12.2 to 3.4 l/min. With further filtering of the beverage, up to 120 minutes or more, the filter productivity decreases by more than half, which leads to irrational energy consumption. During the period of effective filtering, approximately 500...600 liters of filtered beverage are obtained. As the particles move towards the outlet, their number decreases significantly to 12% of the initial content. At a distance of approximately 80 mm from the filter element inlet, the density and thus the content of the dispersed phase stabilizes at a minimum level.

The results of the computational experiment confirm the results of physical modeling regarding filter productivity. The deviation from the values obtained in production does not exceed 2.7%.

DOI: 10.24263/2225-2916-2024-35-13

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРУВАННЯ ПРИ ОСВІТЛЕННІ НАПОЮ ТИПУ «КОМБУЧА»

С. О. Удодов, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-6149-9974>

Р. О. Савчук

О. О. Чепелюк, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-5417-9398>

О. М. Чепелюк, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-6295-6305>

Національний університет харчових технологій

Для дослідження освітлення ферментованого напою типу «Комбуча» використані методи фізичного (виробничий експеримент) і обчислювального моделювання в пакеті Solid Works, додаток Flow Simulation. Тривалість процесу фільтрування і якість освітленого напою суттєво залежать від розміру пор фільтраційного картону і температури напою. При використанні фільтра Colombo 18 рекомендовані значення пор становлять 10 мкм. За цих умов не змінюється якість напою, зберігається його товарний вигляд і подовжується термін зберігання. Найбільш ефективно процес фільтрування відбувається протягом 60...90 хв, при цьому отримують 500...600 л відфільтрованого напою.

Ключові слова: комбуча, фільтрування, розмір пор, моделювання.

Вступ. Збільшення споживання ферментованих напоїв, зокрема типу «Комбуча», безпосередньо пов'язано зі зростанням популярності здорового способу життя.

На основі досліджень *in vitro* та *in vivo* задокументовано кілька переваг чайного гриба для здоров'я, таких як антиоксидантна, протимікробна, протизапальна та протипухлинна дія [1]; він є натуральним пробіотичним напоєм [2, 3], а також має інші терапевтичні властивості для покращення імунної системи людини та запобігання деяким хронічним захворюванням [4]. Для досягнення найбільшого ефекту варто вживати такі напої безпосередньо в місцях виробництва, неосвітленими. Однак для виходу на ринок, постачання в торговельну мережу освітлення доводиться виконувати для збереження товарного виду і подовження терміну зберігання напою.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій. При освітленні напою «Комбуча» відбувається видалення біоплівки, властивості яких залежать від складу мікроорганізмів, характеристик субстрату, факторів навколишнього середовища і параметрів ферментації [5].

Біоплівка комбучі складається із симбіотичної культури бактерій і дріжджів, вона плаває на поверхні рідини під час ферментації напою. Панівними бактеріями в біоплівках комбучі є оцтовокислі бактерії (*Acetobacter* і *Gluconobacter*), а основними дріжджами — *Zygosaccharomyces*, *Saccharomyces*, *Saccharomycodes* та *Schizosaccharomyces* [6], причому 84% дріжджів, знайдених у чайному грибі, належать до роду *Zygosaccharomyces* [7].

Основними продуктами ферментації чайного гриба є етанол та органічні кислоти — молочна, оцтова (надає чайному грибу кислуватого смаку), глюконова та глюкоуронова [8]. Додатковим побічним продуктом виробництва оцтової кислоти бактеріями є целюлоза, яка забезпечує каркас для асоційованих з біоплівкою мікробів [9].

Під час бродіння та після фасування в пляшки частина цієї еукаріотично-бактеріальної мікробної спільноти дріжджів і бактерій почне осідати на дні, інша — пере-

буватиме у завислому стані. Для вилучення цих часточок використовують як осаджування, так і фільтрацію, хоча багато виробників таких ферментованих напоїв акцентують на недоцільності цих процесів і необхідності зберегти в напоях живу культуру мікроорганізмів.

У виробництві ферментованих напоїв, як і в пивоварній промисловості, для зменшення кількості дріжджів у готових виробах можна застосовувати вплив низьких температур при відсутності перемішування, що сприяє осіданню дріжджів. При цьому седиментація майже не зменшує кількість бактерій. Тривалий процес осаджування на виробництві замінюють фільтруванням.

Актуальність досліджень. Прокаріотичні клітини, зазвичай, є значно меншими за еукаріотичні, тому правильне визначення селективності фільтра може забезпечити видалення дріжджів і волокон фільтрацією. Однак використання фільтрів із надто малим розміром пор, здатних затримувати переважну кількість дріжджів, може перешкодити карбонізації напою. Для реалізації процесу фільтрування на практиці, зокрема у виноробній галузі, широко застосовують фільтр-преси Colombo 18, що обумовлено їх доступністю і дешевизною. Однак таке обладнання має невисоку продуктивність, зокрема через потребу частої заміни фільтрувального матеріалу — картону. В науковій літературі не наведена інформація щодо вибору раціональних режимів роботи такого обладнання. Зважаючи на потреби промисловості і відсутність загальноприйнятих рекомендацій, вирішення питання обґрунтування раціональних режимів роботи фільтр-пресів із картонними фільтрувальними елементами при освітленні ферментованих напоїв є актуальним завданням.

Мета і завдання досліджень. Мета статті — визначити раціональні режими роботи фільтра, які забезпечать виробництво якісного, без осаду і завислих часточок, ферментованого напою при забезпеченні заданої продуктивності фільтра. Відповідно до поставленої мети сформульовані основні завдання дослідження:

- за допомогою фізичного моделювання проаналізувати процес відділення завислих часточок з напою типу «Комбуча»;
- розробити імітаційну модель процесу фільтрування напою в обладнанні з картонними фільтрувальними елементами і перевірити її адекватність;
- на основі отриманих результатів рекомендувати раціональні режими роботи фільтра.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є готовий до фасування ферментований напій, вистояний за технологією 10 діб. За цей час в ньому утворилася невелика кількість осаду, який потрібно видалити. Температура слабогазованого напою «Комбуча» $t = 3...5\text{ }^{\circ}\text{C}$, такі її значення обумовлені потребою зберегти якомога більше CO_2 в напої, розчинність якого при низьких температурах вища.

Дослідження проводилися методами фізичного (виробничий експеримент) і обчислювального моделювання в пакеті Solid Works, додаток Flow Simulation.

У виробничих умовах досліджено процес фільтрування ферментованого напою типу «Комбуча» із застосуванням фільтра Colombo 18, до складу якого входять електронасос і фільтрувальні елементи з картону (рис. 1). Розмір фільтрувальних пластин — $200 \times 200\text{ мм}$, розмір пор — від 0,6 до 10 мкм. Продуктивність фільтра, зазначена виробником, — 550...800 л/год.

Під час проведення фізичного експерименту об'ємним методом визначалася якість освітленого напою і фактична пропускна здатність фільтра.

Проведені шість серій дослідів з кроком 30 хв по часу, експеримент в кожній серії повторювався тричі (табл. 1, рис. 2).

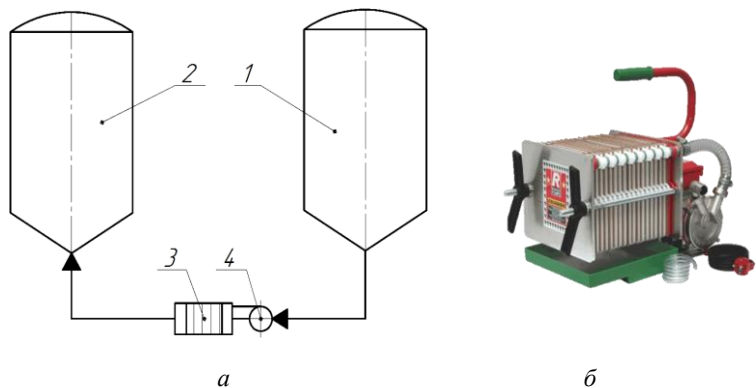


Рис. 1. Схема комплексу фільтрування: а: 1 — циліндро-конічний апарат; 2 — форфас; 3 — фільтр Colombo 18; 4 — насос; б — фільтр Colombo 18

Таблиця 1. Зміна в часі продуктивності фільтра з фільтраційним картоном з розміром пор 10 мкм

Продуктивність Q, л/хв	Тривалість роботи фільтра τ , хв					
	0	30	60	90	120	150
Q_1	15,0	14,6	13,3	12	6,0	3,5
Q_2	14,8	14,3	13,5	12,4	6,2	3,3
Q_3	15,2	14,8	12,9	12,1	5,8	3,4
$Q_{ср}$	15,0	14,6	13,2	12,2	6,0	3,4

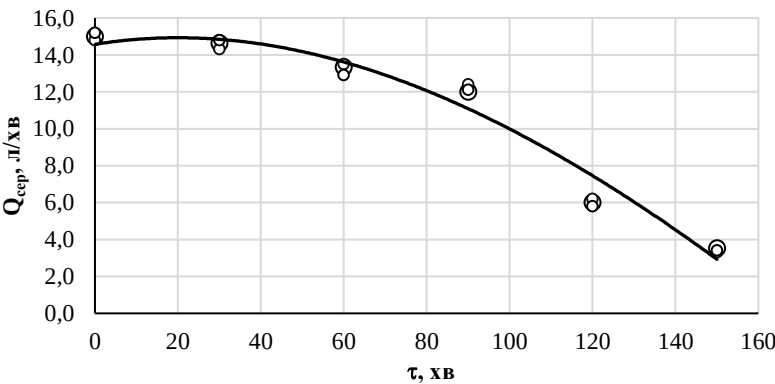


Рис. 2. Зміна продуктивності фільтра в часі

Результати дослідження. За результатами перших дослідів, спрямованих на визначення якісних показників напою, було виявлено, що фільтрувальний картон із розміром пор менше 1 мкм взагалі недоцільно використовувати для фільтрування ферментованого напою, оскільки фільтр затримує не лише дріжджі, але й бактерії (розмір *Acetobacter* 0,6...0,8×1,0...4,0 мкм, *Gluconobacter* 0,7...0,9 мкм×2 мкм), з діяльністю яких пов'язано набуття смаку, кольору та поживної цінності напою типу «Комбуча». Використання фільтрувального картону з розміром пор 5 мкм показало,

що колір і смак напою суттєво не змінюються, однак корисна мікрофлора в готовому напої практично відсутня.

Фільтраційний картон з розмірами комірок 10 мкм не змінює органолептичні показники напою, а більшість дріжджів і драглеподібний осад практично затримуються фільтром, в тому числі за рахунок утворення на поверхні пластин додаткового шару осаду, який затримує мікроорганізми, розмір яких менший за номінальний розмір пор фільтрувальних елементів.

Саме фільтраційний картон із розміром комірок 10 мкм був обраний як найбільш доцільний для використання і подальших досліджень, проведення як фізичних, так і обчислювальних експериментів.

Продуктивність фільтра $Q_{\text{сер}}$, визначена об'ємним методом, не дуже суттєво, на 18,7%, змінюється протягом 1,5 год роботи, надалі різко зменшується від 12,2 до 3,4 л/хв (табл. 1, рис. 2). При подальшому фільтруванні напою, до 120 хв і більше, продуктивність фільтра зменшується більш ніж удвічі внаслідок закупорювання пор фільтраційного картону. Недоцільність подальшої експлуатації фільтра понад 100 хв обумовлена нерациональними енерговитратами.

При восьмигодинній тривалості зміни, за умови заміни пластин кожні 1,5 год, продуктивність фільтра (середньодобова теоретична) орієнтовно становитиме:

$$8 \times 60 \times 12,2 = 5856 \text{ л/зміну},$$

що в 2,9 раза перевищує продуктивність 2000 л/зміну, передбачену виробничою програмою.

При проведенні обчислювального експерименту у програмі SolidWorks Flow Simulation, як і при фізичному моделюванні, розглянуто пористий матеріал — фільтраційний картон з розмірами пор 10 мкм. Вхідними параметрами є відносна швидкість, розмір і кількість часточок у рідині.

Найбільша концентрація часточок після надходження напою «Комбуча» у фільтр спостерігається поблизу впускного патрубку. У мірі руху до впускного патрубку їх кількість суттєво зменшується (рис. 3) і становить 12% від початкового вмісту. Найбільше часточок затримується у верхній частині фільтруючої пластини.

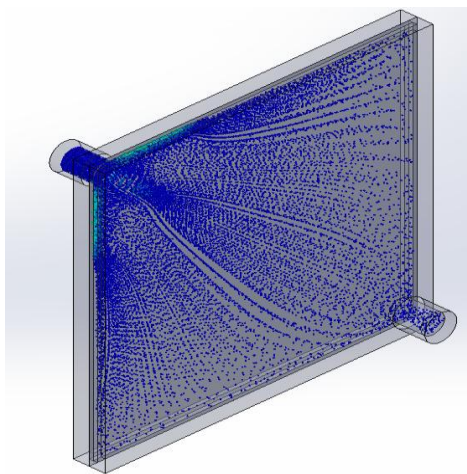


Рис. 3. Концентрація часточок на поверхні фільтрувального елемента

Проаналізувати зміну вмісту твердої фази можна і за густиною рідини. Вже на відстані приблизно 80 мм від входу у фільтрувальну пластину густина і, відповідно, вміст дисперсної фази стабілізуються на мінімальному рівні.

На вході у фільтр тиск рідини становить 1,2 МПа, а після надходження безпосередньо у робочу область фільтра стабілізується на рівні 0,8 МПа.

Швидкість рідини при русі у фільтрі також суттєво змінюється — від 0,35 м/с на вході до 0,034 м/с у відвідному патрубку. Причому всередині фільтрувального простору швидкість потоку в середньому становить 0,05 м/с (рис. 4).

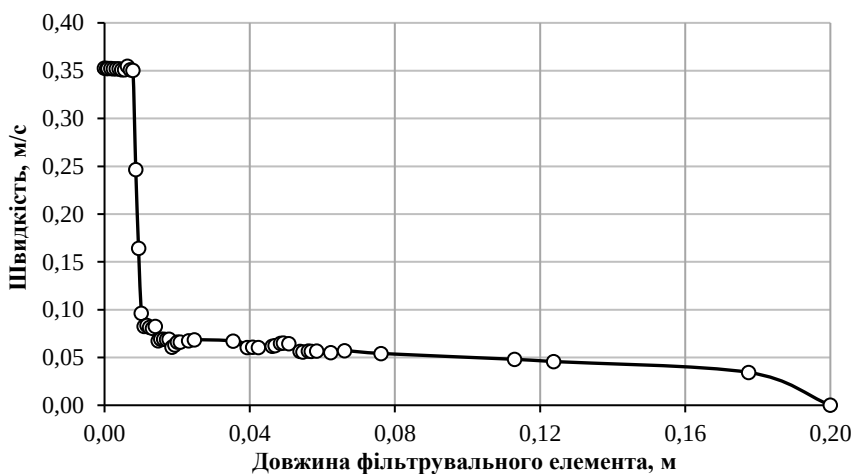


Рис. 4. Розподіл швидкості руху часточок по довжині фільтрувального елемента

Значення швидкості рідини, отримані в ході обчислювального експеримента, підтверджують результати фізичного моделювання щодо продуктивності фільтра і за розрахунками становить 11,9 л/хв. Відхилення від значень, отриманих на виробництві, не перевищує 2,7%.

Висновки. Доцільна тривалість процесу фільтрування і якість освітленого напою суттєво залежать від розміру пор фільтраційного картону та температури напою. При використанні фільтра Colombo 18 для освітлення напою типу «Комбуча» рекомендовано використовувати фільтрувальний картон з розміром пор 10 мкм, який не змінює якість напою, надає можливість зберегти його товарний вигляд і подовжити термін зберігання.

Найбільш ефективно процес фільтрування відбувається протягом 60...90 хв. Надалі суттєво зменшується продуктивність фільтра і виникає необхідність замінити фільтрувальний картон. Протягом проміжку часу ефективного фільтрування отримують приблизно 500...600 л відфільтрованого напою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kitwetcharoen, H., Phung, L. T., Klanrit, P., Thanonkeo, S., Tippayawat, P., Yamada, M., Thanonkeo, P. (2023). Kombucha Healthy Drink — Recent Advances in Production, Chemical Composition and Health Benefits. *Fermentation*, 9(1): 48. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9010048>.
2. Kurniawan, M. A., Safiyr, S., Mutiara, R., Nabila, K. T., & Nurfatihah, J. K. (2023). Exploring the Health Potential of Kombucha Tea: Empowering the Community of Koto Perambahan Village: Eksplorasi Potensi Kesehatan Teh Kombucha: Pemberdayaan Masyarakat Desa Koto Perambahan. *MULTIPLE: Journal of Global and Multidisciplinary*, 1(3), 302—308. Retrieved from <https://journal.institiercom-edu.org/index.php/multiple/article/view/70>.

3. Tamang, J. P., & Lama, S. (2022). Probiotic properties of yeasts in traditional fermented foods and beverages. *Journal of applied microbiology*, 132(5), 3533—3542. <https://doi.org/10.1111/jam.15467>.
4. Jayabalan, R., & Waisundara, V. Y. (2019). *Kombucha as a Functional Beverage*. *Functional and Medicinal Beverages*, Academic Press.
5. Thinzar Aung, Mi Jeong Kim. (2024). A comprehensive review on kombucha biofilms: A promising candidate for sustainable food product development. *Trends in Food Science & Technology*, 144, 104325.
6. Thinzar Aung, Jong-Bang Eun. (2021). Production and characterization of a novel beverage from laver (*Porphyra dentata*) through fermentation with kombucha consortium. *Food Chemistry*, 350, 129274. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129274>.
7. Watawana, M., Jayawardena, N., Gunawardhana, C., & Waisundara, V. (2016). Enhancement of the antioxidant and starch hydrolase inhibitory activities of king coconut water (*Cocos nucifera* var. *aurantiaca*) by fermentation with kombucha "tea fungus". *International Journal of Food Science & Technology*, 51(2), 490—498. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13006>.
8. Blanc, P. (1996). Characterization of the tea fungus metabolites. *Biotechnology Letters*, 18, 139—142. [10.1007/BF00128667](https://doi.org/10.1007/BF00128667).
9. Gordon, A. S., & Moore, B. (2011). *The Kombucha Biofilm: a Model System*. Yale University, Final report on research conducted during the Microbial Diversity course, Marine Biological Laboratories, Woods Hole, MA.