

УДК 621.37

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-13>

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА ЇХ АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Святненко Роман Сергійович,

кандидат технічних наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник Проблемної науково-дослідної лабораторії
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0003-0895-6982

Маринін Андрій Іванович,

кандидат технічних наук, старший дослідник,
завідувач Проблемної науково-дослідної лабораторії
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0001-6692-7472

Бандура Ульяна Геннадіївна,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технології молока і молочних продуктів
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0003-2617-006X

Бортнічук Олег Вікторович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри готельно-ресторанної справи
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0003-4566-8306

Актуальність проблеми полягає в необхідності забезпечення високої якості та безпеки харчових продуктів протягом усього терміну їх зберігання, що є особливо важливим для продуктів без додавання консервантів. У сучасних умовах виникає необхідність використання нетеплових методів оброблення, які зберігають харчову цінність та продовжують термін зберігання, і забезпечення апаратурної реалізації самого процесу. Ці проблеми можна розв'язати шляхом прийняття технологічних рішень на етапі виробництва продуктів з використанням імпульсних електричних полів, які позитивно впливають на мікробіологічні, фізико-хімічні показники зі збереженням харчової та біологічної цінності й подовженням термінів їх зберігання. Статтю присвячено огляду наукової літератури щодо впливу електрофізичних методів оброблення харчових продуктів та їх апаратурного забезпечення. Розглянуті дослідження в цій галузі демонструють ефективність запропонованих методів оброблення в дезактивації мікроорганізмів у рідких середовищах. Наведено приклади експериментальних установок і результати застосування електрофізичних методів оброблення картоплі, м'яса баранини, цикорію і молочних продуктів, зі збереженням показників якості та забезпечення терміну їх зберігання.

Встановлено, що запропонований вид оброблення демонструє високу ефективність у дезактивації мікроорганізмів та збереженні біологічної цінності продуктів, зокрема молока, м'яса та овочів. Авторами доведено, що такі методи оброблення можуть бути ефективними, забезпечуючи мінімальну зміну їх властивостей. Це відкриває нові можливості для впровадження енергоефективних технологій у харчовій промисловості.

Ключові слова: електрофізичні методи оброблення, фізико-хімічні показники, термін зберігання, мікробіологічні показники.

Svyatnenko Roman, Marynin Andriy, Bandura Ulyana, Bortnichuk Oleg. Electrophysical methods of food processing and their hardware support

The relevance of the problem is determined by the need to ensure high quality and safety of food products during their storage period, which is especially important for food products without the addition of preservatives. Nowadays, there is a need to use non-thermal processing methods that preserve the nutritional value and extend the shelf life of products, and to ensure hardware implementation of the process. These problems can be solved by making technological decisions at the stage of manufacturing products using electrophysical methods, which have a positive effect on their

microbiological, physico-chemical indicators with the preservation of nutritional and biological value, and the extension of their shelf life. The article is devoted to a literature review of the impact of electrophysical processing methods on food products and their hardware support. The reviewed studies in this field demonstrated the effectiveness of the proposed processing methods in the deactivation of microorganisms in liquid media. Examples of experimental installations and the results of applying electrophysical methods of processing potatoes, mutton, chicory and dairy products were given, while maintaining quality indicators of these groups of products and ensuring their shelf life.

It was established that the proposed type of processing demonstrated high efficiency in decontamination of microorganisms and preservation of the biological value of products, in particular milk, meat and vegetables. It was proved that such processing methods can be effective, ensuring a minimal change in their properties. This creates new opportunities for the introduction of energy-efficient technologies in the food industry.

Key words: *electrophysical processing methods, physico-chemical indicators, shelf life, microbiological indicators.*

Актуальність проблеми. Усе частіше сучасні стандарти якості та безпеки харчових продуктів вимагають, щоб продукція зберігала свої високі якісні показники та залишалася безпечною для споживання протягом усього визначеного терміну придатності. Проте під час зберігання продуктів, які не містять консервантів, під впливом природних чинників та технологічних процесів відбувається часткове окиснення жирів і розвиток патогенної чи умовно патогенної мікрофлори. Це призводить до зниження якості та конкурентоспроможності продукції виробників.

У сучасних харчових технологіях усе більшу роль відіграють нетеплові методи оброблення сировини та продуктів, які сприяють упровадженню ресурсо- та енергоощадних технологій, інтенсифікації процесів і покращенню харчової та біологічної цінності продуктів. Серед таких методів – ультразвук, ультрафіолетове та іонізуюче випромінювання, інфрачервоне опромінення, імпульсні електричні поля тощо.

Перспективним завданням є розроблення інноваційних методів, що дозволяють інтенсифікувати процеси оброблення продуктів з використанням енергоефективних електрофізичних технологій та їх апаратурно-технологічне втілення.

Метою статті є огляд наукової літератури щодо впливу електрофізичних методів оброблення харчових продуктів та їх апаратурного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових розвідках, присвячених вивченню впливу електрофізичних полів на мікробіологічні властивості харчових продуктів, Н. Doevenspeck [1, с. 20], а згодом А. Sale і W. Hamilton [2, с. 35] зазначають, що перші наукові дослідження впливу електромагнітних полів почалися в 1960-х роках. Учені науково підтвердили позитивний ефект дії імпульсного електричного поля на мікроорганізми в рідких водовмісних середовищах, а також запропонували опис можливих механізмів та кінетики цих процесів.

Р. I. Wouters [3, с. 56] зазначив, що технологія імпульсного електричного поля (далі – ІЕП) вважається одним із найперспективніших нетеплових методів для інактивації мікроорганізмів у харчових продуктах. Електричні поля з інтенсивністю 5–50 кВ/см, створювані короткими імпульсами високої напруги між двома електродами, викликають інактивацію мікроорганізмів за температур, нижчих, ніж за традиційного теплового оброблення. Хоча точні механізми, за якими ІЕП діє на мікроорганізми, ще не до кінця зрозумілі, але відомо, що цей процес спричиняє проникнення в мікробні мембрани.

Досліджуючи застосування ІЕП для технологічного оброблення картоплі за допомогою установки (рис. 1), науковці [4, с. 56] встановили, що ІЕП дозволяє знизити механічне пошкодження клітин картоплі, покращує вихід продукту, скорочує тривалість оброблення.



Рис. 1. Установа ІЕП для оброблення твердих продуктів

Досліджуючи вплив ІЕП оброблення на фізико-хімічні та сенсорні властивості шматків м'яса баранини, автори [5, с. 56] встановили, що під час зберігання протягом 7 діб необроблені зразки мали ступінь окислення, тоді як оброблення ІЕП для всіх зразків показало значно кращий результат.

Вивчення впливу електрогідралічного оброблення на характеристики суспензії цикорію та

інуліну на експериментальній установці (рис. 2) показали [6, с. 97], що оптимальним режимом є використання напруги в 35 кВ з 20–30 розрядами, що забезпечує максимальний вихід редуруючих речовин. Доведено, що оброблення сприяє подрібненню частинок цикорію, збільшує їх дисперсність, що у свою чергу покращує процес гідролізу. Також встановлено, що збільшення кількості розрядів активує рекомбінаційні процеси, що позитивно впливає на перехід активних речовин.

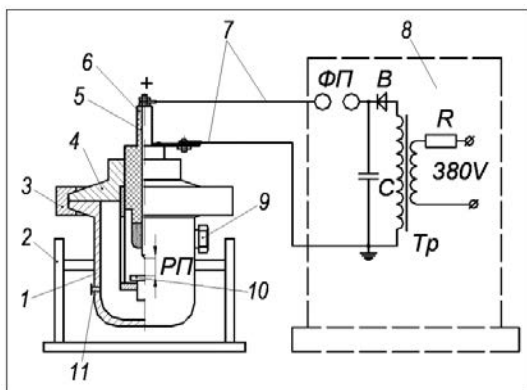


Рис. 2. Принципова схема експериментальної електрогідралічної установки: 1 – електророзрядна камера; 2 – станина; 3 – хомут; 4 – кришка; 5 – ізолятор; 6 – позитивний електрод; 7 – високовольтні кабелі; 8 – генератор імпульсних струмів; 9, 11 – технологічні отвори; 10 – негативний електрод; РП – розрядний проміжок; ФП – формуючий проміжок; Тр – трансформатор; В – випростувач; R – зарядний опір; С – конденсатор

Досліджуючи вплив технології ІЕП на мікроорганізми в молочній сироватці з використанням експериментальної установки (рис. 3), вчені [7, с. 146; 8, с. 31] встановили, що таке оброблення є ефективним методом їх інактивації. Зокрема, було встановлено, що за напруженості полів у діапазоні 15–30 кВ/см та тривалості впливу оброблення протягом 30 с відбувається повна інактивація мікроорганізмів, що свідчить про значний потенціал ІЕП як методу стерилізації харчових продуктів. Крім цього, досліджено амінокислотний склад молока після оброблення ІЕП [9, с. 125] та виявлено, що оброблене молоко зберігає всі незамінні амінокислоти. Амінокислота лізин виявилася домінантною амінокислотою, тоді як метіонін та цистин – лімітуючими. Коефіцієнти утилітарності білка для обробленого молока становили 1,25

та 1,23, що свідчить про високий рівень засвоєності білкових компонентів. Біологічна цінність молока після ІЕП оцінювалась на рівні 82,02%, що є досить високим показником.

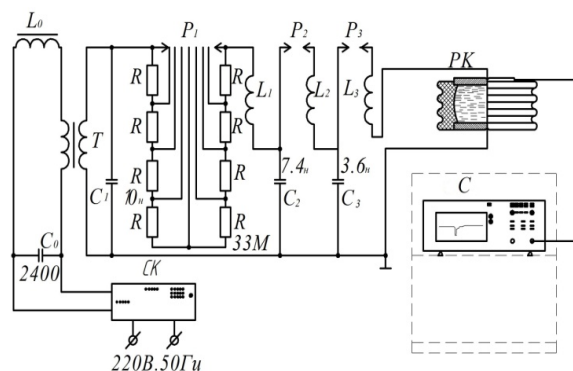


Рис. 3. Експериментальна установка для оброблення ІЕП рідких середовищ L_0 – дросель; Т – трансформатор ІОМ-100/100; L_1 - L_3 – паразитні індуктивності; P_1 - P_3 – іскрові розрядники; C_1 - C_3 – ємнісний накопичувач енергії; C_0 – батарея конденсаторів; СК – система керування; С – осцилограф

Досліджуючи інактивацію *Lactobacillus plantarum* у напої на основі суміші апельсинового соку та молока за допомогою ІЕП на експериментальній установці (рис 4.), науковці [10, с. 933] встановили, що зі збільшенням часу оброблення досягається краща ступінь інактивації мікроорганізмів *Lactobacillus plantarum*, що у свою чергу сприяє більш тривалому зберіганню продукції.

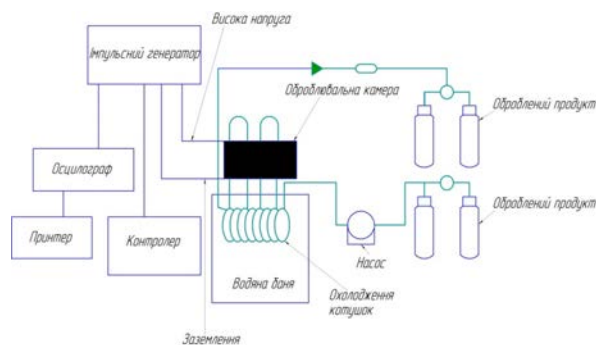


Рис. 4. Схема експериментальної установки для оброблення ІЕП

L. Fojt., L. Strasák., V. Vetterl [11, с 94], досліджуючи вплив «однорідних» і «неоднорідних» статичних низькочастотних імпульсних електричних полів з використанням установки (рис. 5) на *E. coli*, зауважили, що, крім впливу на ріст мікроорганізмів, ІЕП спричиняло значне зниження оксидоредуктивної активності бактерій.

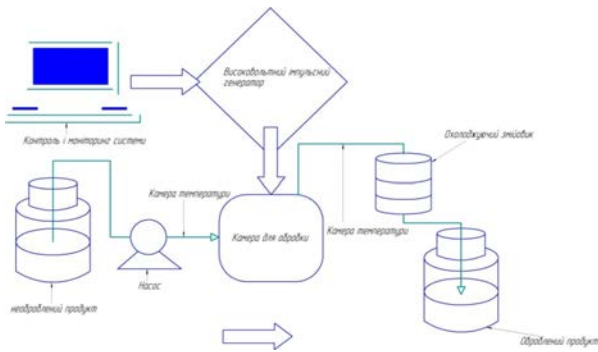


Рис. 5. Схема експериментальної установки для оброблення ІЕП

М.І. Бойко зазначив, що особливість електроімпульсного оброблення полягає в тому, що воно не знижує (а, можливо, навіть покращує) біологічну цінність оброблених продуктів, подовжуючи їх термін зберігання. Це підтверджується результатами мікробіологічних, хімічних, біохімічних та спектральних аналізів [12, с. 135].

У науковій статті [13] досліджено потенціал інактивації мікроорганізмів за допомогою ІЕП для продовження терміну зберігання продуктів, зокрема вплив форми імпульсів та конструкції робочих камер. Доведено, що прямокутні імпульси є більш ефективними, ніж

експоненціально затухаючі, а імпульси, що швидко змінюють полярність, виявилися ще ефективнішими.

У дослідженнях [14; 15], присвячених терміну зберігання продуктів за допомогою ІЕП, автори встановили [14, с. 155], що під час оброблення молока з 2% молочного жиру ІЕП у три етапи ($E = 40$ кВ/см, $W = 2$ μ s, $N = 6-7$ імпульсів) [15, с. 58] не було виявлено змін у фізико-хімічних та сенсорних властивостях порівняно з молоком, пастеризованим термічним методом, при цьому термін зберігання за температури 4°C був збільшений на 4 доби.

Висновки. Застосування електрофізичних методів є перспективним напрямом для підвищення якості та терміну зберігання харчових продуктів без використання консервантів. Розглянуті типи оброблення демонструють високу ефективність щодо інактивації мікроорганізмів та збереження біологічної цінності продуктів. Наведені результати досліджень показують, що такі методи можуть бути ефективними та альтернативними традиційним термічним процесам, забезпечуючи мінімальну зміну сенсорних та харчових властивостей. Це відкриває нові можливості для впровадження енергоефективних технологій у харчовій промисловості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Doevenspeck H. Influencing cells and cell walls by electrostatic impulses. / H. Doevenspeck, *Fleischwirtschaft*, 1961. 13(12), P. 968–987.
2. Sale A.J. Effect of high electric fields on micro-organisms. I. Killing of bacteria and yeast. II. Mechanism of action of the lethal effect A.J. Sale., W.A. Hamilton. *Biochim. Biophys Acta*. 1967. Vol. 148. P. 781–800.
3. Wouters P. C. Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. P. C. Wouters, I. Alvarez, & J. Raso. *Trends in Food Science & Technology*, 2001. 12(3-4), P. 112–121.
4. Parniakov O. Applications of pulsed electric fields for processing potatoes. / O. Parniakov, N. Lebovka, A. Wiktor, C. Alles, K. Hill, & S. Toepfl. *Examples and equipment design. Research in Agricultural Engineering*, 2022. 68(2), P. 47–62.
5. Kantono K. Pulsed electric field (PEF) processing of chilled and frozen-thawed lamb meat cuts. / K. Kantono, N. Hamid, D. Chadha, I. Oey, & M. Farouk. Relationships between sensory characteristics and chemical composition of meat. *Foods*, 2021. 10(5), P. 1148.
6. Marynin A. Study of the effect of electro-hydraulic treatment on receiving of fructose-oligosaccharide mixtures. / A. Marynin, S. Poznyakovsky, N. Breeus, R. Svyatnenko. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: New solutions in modern technologies. Kharkiv: NTU «KhPI»*, 2019. № 10 (1335) С. 93–100, doi:10.20998/2413-4295.2019.10.12.
7. Дослідження впливу електромагнітної оброблення на мікроорганізми молочної сироватки. / А.І. Українець та ін. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. № (179). С. 146–152.
8. Вплив імпульсних електричних полів на мікробіологічні показники та вміст вітаміну С в незбираному молоці. / Р.С. Святненко та ін. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2017. 19. № 80. С. 29–32.
9. Svyatnenko R. Effect of pulsed electric fields on the amino acid composition of whole milk. R. Svyatnenko, A. Ukrainets, A. Marynin, O. Kochubei-Lytvynenko, M. Boyko. *Scientific Works of National University of Food Technologies*, 2018. № 24(1). P. 119–125.
10. Sampedro F. Pulsed electric fields inactivation of *Lactobacillus plantarum* in an orange juice–milk based beverage. F. Sampedro, A. Rivas, D. Rodrigo, A. Martínez, M. Rodrigo. *Effect of process parameters. Journal of Food Engineering*, 2007. № 80(3). P. 931–938.

11. Fojt L. Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans*. L. Fojt., L. Strasák., V. Vetterl. *Bioelectrochemistry*. 2007. № 70(1). P. 91–95.
12. High-voltage spark dischargers for technological installations. / N.I. Bojko et al. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*, 2001. P. 79–88.
13. Inactivation of microorganisms with pulsed electric fields: Potential for food preservation. / P.C. Wouters et al. *Food Biotechnology*. 1997. Vol. 11. № 3. P. 193–229.
14. Non-thermal food preservation: pulsed electric fields / H. Vega-Mercado et al. *Trends in Food Science & Technology*. 1997. Vol. 8, May. P. 151–157.
15. Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields / B.L. Qin et al. *Food Technol.* 1995. № 12. P. 55–60.

REFERENCES:

1. Doevenspeck, H. (1961). Influencing cells and cell walls by electrostatic impulses. *Fleischwirtschaft*, 13(12), 968–987.
2. Sale, A. J. H., & Hamilton, W. A. (1967). Effects of high electric fields on microorganisms: I. Killing of bacteria and yeasts. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 148(3), 781–788.
3. Wouters, P. C., Alvarez, I., & Raso, J. (2001). Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 12(3-4), 112–121.
4. Parniakov, O., Lebovka, N., Wiktor, A., Alles, M. C., Hill, K., & Toepfl, S. (2022). Applications of pulsed electric fields for processing potatoes: Examples and equipment design. *Research in Agricultural Engineering*, 68(2), 47–62.
5. Kantono, K., Hamid, N., Chadha, D., Ma, Q., Oey, I., & Farouk, M. M. (2021). Pulsed electric field (PEF) processing of chilled and frozen-thawed lamb meat cuts: Relationships between sensory characteristics and chemical composition of meat. *Foods*, 10(5), 1148.
6. Marynin, A. I., Pozniakovskiy, S. V., Breus, N. M., & Sviatnenko, R. S. (2019). Doslidzhennia vplyvu elektrohivachynoho obroblennia na otrymannia fruktozo-oligosaharydnykh sumishei. [Study of the impact of electrohydraulic processing on the production of fructose-oligosaccharide mixtures]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu KhPI. Serii: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, (10), 93–100. [in Ukrainian].
7. Ukrainets, A. I., Marynin, A. I., Sviatnenko, R. S., Kochubei-Lytvynenko, O. V., & Boiko, M. I. (2016). Doslidzhennia vplyvu elektromagnitnoi obrobky na mikroorhanizmy molochnoi syrovatky. [Study of the effect of electromagnetic treatment on microorganisms of milk serum]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, (179), 146-152. [in Ukrainian].
8. Sviatnenko, R. S., Marynin, A. I., Makohon, A. V., & Fursik, O. P. (2017). Vplyv impulsnykh elektrychnykh poliv na mikrobiolohichni pokaznyky ta vmist vitaminu S v nezbyranomu molotsi. [Effect of pulsed electric fields on microbiological indicators and vitamin C content in whole milk]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni SZ Gzhytskoho. Serii: Kharchovi tekhnolohii*, (19, № 80), 29-32. [in Ukrainian].
9. Svyatnenko, R., Ukrainets, A., Marynin, A., Kochubei-Lytvynenko, O., Boyko, M. (2018). Effect of pulsed electric fields on the amino acid composition of whole milk. *Scientific Works of National University of Food Technologies*, 24(1), 119-125.
10. Sampedro, F., Rivas, A., Rodrigo, D., Martínez, A., & Rodrigo, M. (2007). Pulsed electric fields inactivation of *Lactobacillus plantarum* in an orange juice–milk based beverage: Effect of process parameters. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 931-938.
11. Fojt, L., (2007). Effect of electromagnetic fields on the denitrification activity of *Paracoccus denitrificans*. / L. Fojt., L. Strasák., V. Vetterl., *Bioelectrochemistry*. № 70(1), P. 91–95.
12. Bojko, N. I., Evdoshenko, L. S., Zarochentsev, A. I., Ivanov, V. M., & Tur, A. N. (2001). High-voltage spark dischargers for technological installations. *Pribory i Tekhnika Eksperimenta*. 79–88.
13. Wouters, P. C., & Smelt, J. P. (1997). Inactivation of microorganisms with pulsed electric fields: potential for food preservation. *Food Biotechnology*, 11(3), 193–229.
14. Vega-Mercado, H., Martin-Belloso, O., Qin, B. L., Chang, F. J., Góngora-Nieto, M. M., Barbosa-Cánovas, G. V., & Swanson, B. G. (1997). Non-thermal food preservation: pulsed electric fields. *Trends in food science & technology*, 8(5), 151–157.
15. Qin, B. L., Pothakamury, U., Vega, H., Martin, O., Barbosa-Canovas, G. V., & Swanson, G. (1995). Food pasteurization using high – intensity pulsed electric fields. *Food technology (Chicago)*, 49(12), 55–60.