

## EFFECT OF PULSED ELECTRIC FIELDS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WHOLE MILK

R. Svyatnenko, A. Ukrainets, A. Marynin, O. Kochubei-Lytvynenko  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Whole milk  
Pulsed Electric Fields  
Temperature  
Physical and chemical  
properties  
Phosphatase*

---

**Article history:**

Received 03.04.2016  
Received in revised form  
08.05.2016  
Accepted 20.05.2016

---

**Corresponding author:**

A. Ukrainets  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article investigates the impact of Pulsed Electric Fields (PEF) on whole milk composition and properties. It was established that PEF treatment of whole milk with field intensity from 15 to 30 kV/cm and treatment time from 10 s to 30 s showed the non-heat effect of milk temperature increase to 45...85 °C. Herewith, the temperature increase correlated with the intensity and treatment time. No significant changes were observed in the physicochemical properties, and composition of milk for all treatment modes. The absence of phosphatase in whole milk samples treated by PEF with the intensity of 15 kV/cm with 27 s and the intensity of 30 kV/cm with 20...27 s was established. The titrated acidity dynamics in the whole milk samples treated by PEF in different modes during storage was studied.

## ВПЛИВ ІМПУЛЬСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ НА СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ НЕЗБИРАНОГО МОЛОКА

Р.С. Святненко, А.І. Українець, А.І. Маринін, О.В. Кочубей-Литвиненко  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті досліджено характер впливу імпульсних електричних полів (ІЕП) на склад і властивості незбираного молока. Встановлено, що при обробленні незбираного молока імпульсними електричними полями в діапазоні напруженості 15...30 кВ/см і тривалості 10...30 с спостерігається нетепловий ефект зростання температури сировини до 45...85 °С. При цьому приріст температури корелював з напруженістю і тривалістю оброблення. В ході досліджень суттєвих змін складу і фізико-хімічних показників молока за всіх режимів оброблення не виявлено. Встановлено відсутність фосфатази в зразках незбираного молока після дії імпульсних електричних полів за напруженості 15 кВ/см протягом 27 с і напруженості 30 кВ/см протягом 20...27 с. Досліджено динаміку титрованої кислотності в зразках незбираного молока, обробленого ІЕП за різних режимів, протягом зберігання.*

**Ключові слова:** незбиране молоко, імпульсні електричні поля, температура, фізико-хімічні показники, фосфатаза.

**Постановка проблеми.** В сучасних технологіях харчової промисловості все більшу роль відіграють нетеплові процеси оброблення харчової сировини, що сприяють впровадженню ресурсо-, енергозберігаючих технологій, інтенсифікації виробництва, покращанню харчової і біологічної цінності сировини. До них відносять високий гідростатичний тиск, імпульсні електричні поля (ІЕП), ультразвук високої інтенсивності, ультрафіолетове та іонізуюче опромінення тощо [1]. Головна мета розроблення нетеплових способів полягає в зменшенні використання високих температур під час виробництва харчових продуктів, за рахунок чого уникають їх негативного впливу на смак, аромат і харчову цінність сировини та готових продуктів.

Останнім часом стрімко зріс інтерес до застосування імпульсних електричних полів у харчовій промисловості через зростаючий попит на продукти з високою біологічною цінністю та збереження їх «свіжості» [2]. Сутність реалізації технології ІЕП у харчовій промисловості полягає в тому, що імпульсні електричні поля в діапазоні напруженості 5...100 кВ/см при тривалості дії в кілька десятків мікро- або наносекунд викликають мікробну інактивацію за температур нижчих, ніж ті, що використовуються при теплової обробці. При цьому оброблення ІЕП дозволяє уникнути чи максимально зменшити небажані зміни органолептичних показників, біологічної та харчової цінності продуктів. Даній проблематиці присвячені праці Н.І. Бойко [3], Л. Gulyi [4], G. Barbosa-Canovas та ін. [5], L. Cheftel Barsottii [6—7], T. Grahl, H. Markl [8], E. Vorobiev та ін. [9—10], T. Bajgai and E. Hashinaga [11], M. Bazhal та ін. [12], K. Taiwo та ін. [13].

У літературних джерелах знайдено багато відомостей про оброблення сировини рослинного походження (картопля, кокос, морква, яблука тощо) [4, 8, 14—17] та молока імпульсними електричними полями [3, 18]. Але це, як правило, зарубіжний досвід, вітчизняних розробок вкрай мало, інформація переважно стосується інактивуєної дії ІЕП, вплив на склад і властивості молока вивчено недостатньо, існуючі дані не систематизовано.

**Мета дослідження.** Вивчити дію ІЕП як перспективного енергозберігаючого способу первинного оброблення молочної сировини на склад, органолептичні та фізико-хімічні властивості незбираного молока.

**Матеріали і методи дослідження.** Об'єктом дослідження є незбиране коров'яче молоко від індивідуальних сільськогосподарських товаровиробників Харківської області до та після оброблення імпульсними електричними полями.

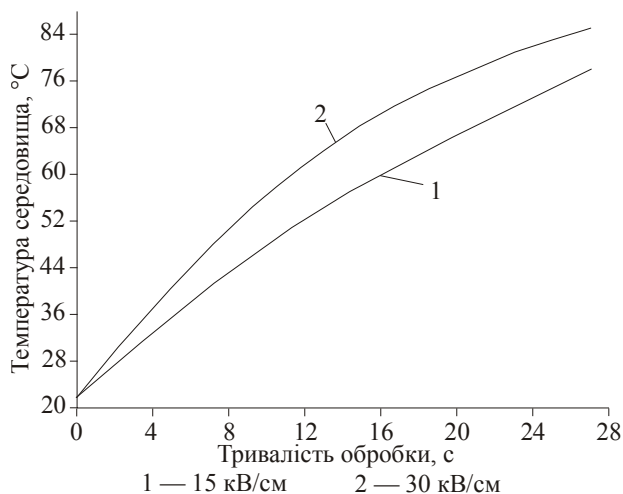
Оброблення здійснювали на експериментальній установці, розробленій в НТУ «Харківський політехнічний інститут» [19]. Дослідні зразки готували так: незбиране молоко з початковою температурою  $(22 \pm 2)$  °C вміщували в камеру закритого типу об'ємом 150 см<sup>3</sup>. Після приєднання робочої камери до електродної системи генератора імпульсних напруг упродовж 10...30 с здійснювалася подача імпульсів через іскровий розрядний проміжок до 0,01 мм. Напруженість дії ІЕП контролювали осцилографом.

У процесі дослідження використовували стандартні і загальновідомі методи дослідження.

Вміст жиру, білка, лактози, сухого знежиреного молочного залишку (далі — СЗМЗ), густину та температуру замерзання визначали на ультразвуковому

аналізаторі молока «ЕКОМІLK-Bond» (Болгарія). Активну кислотність визначали на йономірі універсальному И-160 М. Статистичний розподіл розмірів частинок молочної сировини, електрокінетичний потенціал та електропровідність до та після оброблення визначали методом динамічного світлорозсіювання на аналізаторі Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd., Велика Британія) з кутом детектування 173°, гелій-неоновим лазером He-Ne потужністю 4 мВт з довжиною хвилі 633 нм. Усі вимірювання в даному дослідженні здійснювалися за температури 25 °С. Розподіл за розмірами в одиницях інтенсивності було отримано з аналізу кореляційних функцій з використанням алгоритму General purpose програмного забезпечення аналізатора Zetasizer Software 7.11.

**Результати і обговорення.** При обробленні незбираного молока імпульсними електричними полями в діапазоні напруженості 15...30 кВ/см і тривалістю імпульсу до 25 наносекунд спостерігався нетепловий ефект зростання температури сировини до області температур термізації і пастеризації (рис. 1). При цьому приріст температури корелював з напруженістю і тривалістю оброблення. Так, найвищої температури молока (понад 80 °С) при ІЕП-обробленні досягали за напруженості 30 кВ/см і експозиції 27...30 с.



**Рис. 1. Вплив напруженості ІЕП і тривалості оброблення на температуру незбираного молока**

Аналіз органолептичних показників не виявив суттєвої різниці між зразками молока до і після оброблення. Лише в зразках, оброблених впродовж 20...27 с за напруженості 15 кВ/см та 30 кВ/см, з'являвся присмак і запах, властивий пастеризованому молоку.

У дослідних зразках було вивчено зміну основних фізико-хімічних показників, що характеризують харчову повноцінність сировини, при ІЕП-обробленні в порівнянні з необробленим молоком.

Результати оцінки фізико-хімічних показників досліджуваних зразків незбираного молока представлені в табл. 1.

*Таблиця 1. Фізико-хімічні показники незбираного молока до і після оброблення ІЕП за різних режимів*

Показник	Вихідне незбиране молоко	15 кВ/см			30 кВ/см		
		$\tau \approx 10$ с	$\tau \approx 20$ с	$\tau \approx 27$ с	$\tau \approx 10$ с	$\tau \approx 20$ с	$\tau \approx 27$ с
Масова частка, %:							
Жир	3,68	3,67	3,56	3,66	3,65	3,70	3,69
СЗМЗ	8,01	7,93	7,95	7,98	8,01	7,98	8,06
Білок	2,91	2,90	2,88	2,87	2,84	2,88	2,92
Лактоза	4,49	4,42	4,37	4,39	4,43	4,42	4,53
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1028,0	1027,7	1027,5	1028,5	1028,6	1027,9	1028,2
Температура замерзання, °С	-0,531	-0,526	-0,524	-0,523	-0,528	-0,524	-0,534
pH	6,692	6,691	6,684	6,694	6,672	6,674	6,669
Ефективність пастеризації за фосфатазою	+	+	+	-	+	-	-
Термостійкість за алкогольною пробою, група	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III

Як засвідчив аналіз отриманих результатів, суттєвих змін складу і основних фізико-хімічних показників молока не відбувалось за всіх режимів оброблення, а різниця в значеннях знаходилась у межах похибки. Незначне підвищення активної кислотності в зразках, оброблених за напруженості 30 кВ/см і експозиції 27 с, пов'язане, ймовірно, із видаленням летких компонентів (кисню, вуглекислоти) із зростанням температури молока.

Позитивним наслідком дії ІЕП за найвищих параметрів напруженості й тривалості оброблення (30 кВ/см  $\tau \approx 27$  с) є підвищення термостійкості незбираного молока на одну групу за алкогольною пробою.

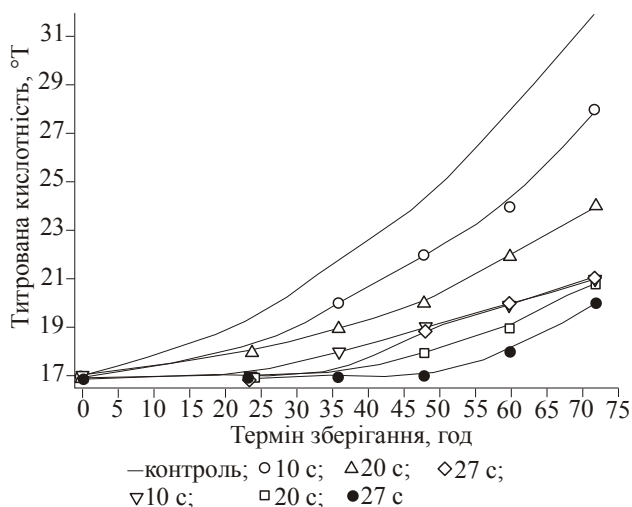
Слід відмітити, що при проведенні проби на ефективність термічного оброблення в зразках незбираного молока після дії ІЕП за напруженості 15 кВ/см протягом 27 с і напруженості 30 кВ/см протягом 20...27 с виявлено відсутність фосфатази. Цей факт дає підстави стверджувати, що за ІЕП-оброблення можна досягти ефекту пастеризації.

Підтвердженням даного припущення є результати наростання кислотності в дослідних зразках протягом зберігання (рис. 2).

Як контроль виступало сире коров'яче молоко, охолоджене до температури  $(6 \pm 2)$  °С. Зразки зберігали протягом 72 год за температури  $(6 \pm 2)$  °С.

Встановлено, що в зразках молока, обробленого за напруженості 15 кВ/см упродовж 27 с і за напруженості 30 кВ/см упродовж 20...27 с, характер наростання титрованої кислотності був подібним. Титрована кислотність протягом 72 год зростала повільно і лише через 3 доби зберігання наблизилась до гранично-допустимого значення (21 °Т). Порівняно з цим сире охолоджене молоко досягало даного рівня кислотності через 24 год зберігання.

З метою вивчення впливу ЕІП-оброблення на дисперсний стан основних складових молока здійснювали дисперсний аналіз дослідних проб молока на аналізаторі частинок Malvern Zetasizer Nano ZS (Велика Британія).



**Рис. 2.** Динаміка титрованої кислотності дослідних зразків незбираного молока, оброблених ІЕП за різних режимів (незафарбовані маркери відносяться до дослідних зразків, оброблених за напруженості 15 кВ/см, зафарбовані — 30 кВ/см)

Встановлено, що зі зростанням напруженості й часу оброблення абсолютне значення електрокінетичного потенціалу і середній гідродинамічний діаметр частинок змінювалися не суттєво. Це свідчить про відсутність небажаних змін, зокрема коагуляції (денатурації) білкових частинок, агрегування жирових кульок унаслідок деемульгування жиру.

### Висновки

Доведено можливість здійснення теплового оброблення молока за рахунок нетеплових ефектів, що виникають за імпульсної дії електричних полів, і відсутність фосфатази в зразках незбираного молока після дії ІЕП за напруженості 15 кВ/см протягом 27 с і напруженості 30 кВ/см протягом 20...27 с.

Встановлено, що оброблення ІЕП не спричиняє негативного впливу на склад, органолептичні, фізико-хімічні показники та стан дисперсної системи незбираного молока.

Отже, відкрито перспективи використання вітчизняних ІЕП-установок при первинному обробленні молочної сировини з метою збереження свіжості молока та зменшення енерговитрат.

### Література

1. Butz P. Emerging technologies: chemical aspects / P. Butz, B. Tauscher // Food Research International. — 2002. — # 35. — P. 279—284.
2. Walkling-Ribeiro M. The impact of thermosonication and pulsed electric fields on *Staphylococcus aureus* inactivation and selected quality parameters in orange juice / M. Walkling-Ribeiro, F. Noci, J. Riener, D. Cronin, J.G. Lyng and D. Morgan // Food and Bioprocess Technology. — 2009 — # 2. — P. 422—430.
3. Бойко Н.И. Установка для обработки текучих продуктов при помощи комплекса высоковольтных импульсных воздействий и результаты исследований / Н.И. Бойко, А.Н. Тур, Л.С. Евдошенко, В.М. Иванов, А.И. Зароченцев, В.В. Рудаков, А.И. Божков // Технічна електродинаміка. — 2001. — № 4. — С. 59—63.

4. Гулі Л. Принципи електротехніки обробки харчових продуктів і матеріалів / Л. Гулі, С. Н. Лебовка, І. В. Манк, М. П. Купчик, М. І. Басхал, А. В. Матвієнко і А. Х. Панченко // Укр INTEI. — Київ 1994. — С. 70—83.
5. *Barbosa-Canovas G.* Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields / G. Barbosa-Canovas, M. M. Gingora-Nieto, U. R. Pothakamury, G. Preservation, B. G. Swanson. — London: Academic Press, 1998. — P. 280—286.
6. *Barsotti L.* Traitement des aliments par champs électriques pulsés / L. Barsotti, C. Cheftel // Sci. Aliment. — 1998. — # 18. — P. 584—601.
7. *Barsotti L.* Food processing by pulsed electric fields. II. Biological aspects / L. Barsotti, J. C. Cheftel // Food Review International. — 1999. — # 15(2). — P. 181—213.
8. *Grahl T.* Killing of microorganisms by pulsed electric fields / T. Grahl, H. Markl // Applied Microbiology and Biotechnology. — 1996. — # 45(1/2). — P. 148—157.
9. *Vorobiev E.* Procédé d'extraction de liquide d'un matériau cellulaire, et dispositifs de mise en oeuvre du dit procédé / A. Andre, H. Bouzrara, and M. Bazhal // Demande de brevet en France. — 2000. — P. 111—113.
10. *Vorobiev E.* Pulsed electric field assisted extraction of juice from food plants / E. Vorobiev, E. Jemai, A. B. Bouzrara, H. Lebovka, and M. I. Bazhal // In: Novel Food Processing Technologies. — New York: Marcel Dekker, 2004. — P. 105—130.
11. *Bajgai T. R.* Electric field drying of Japanese radish / T. R. Bajgai, E. Hashinaga // Drying Technol. — 2001. — № 19. — P. 2291—2302.
12. *Bazhal M. I.* Etude du mécanisme d'électroperméabilisation des tissus végétaux. Application à l'extraction du jus des pommes // Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Compiègne, France, 2001. — P. 71—78.
13. *Taiwo K. A.* Influence of high intensity electric field pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures / A. Taiwo, K. A. Angersbach, D. Knorr. // J. Food Eng. — 2002. — # 52. — P. 185—192.
14. *Angersbach A.* High intensity electric field pulses as pretreatment for affecting dehydration characteristics and rehydration properties of potato cubes / A. Angersbach, D. Knorr // Nahrung. — 2006. — # 55. — P. 143—146.
15. *Ade-Omowaye B. I.* Impact of high intensity electric field pulses on cell permeabilisation and as pre-processing step in coconut processing / B. I. Ade-Omowaye, N. Eshtiaghi, D. Knorr // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. — 2000. — # 1(3). — P. 203—209.
16. *Rastogi N.* Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electric field pulse pre-treated carrots / N. Rastogi, M. Eshtiaghi, D. Knorr // Food Sci. — 1999. — № 64 — P. 1020—1023.
17. *Ade-Omowaye B. I.* Use of pulsed electric field pretreatment to improve dehydration characteristics of plant based foods / B. I. Ade-Omowaye, K. Taiwo, D. Knorr // Trends Food Sci. Technol. — 2002. — # 12. — P. 285—295.
18. *Dunn J.* Pulsed electric field processing / J. Dunn // Technomic Press, Lancaster P. A., 2001. — P. 1—30.
19. *Бойко Н. И.* Высоковольтные аппараты и технологии на основе комплекса высоковольтных импульсных воздействий / Н. И. Бойко // Вісник НТУ «ХП». — 2001. — № 16. — С. 11—16.

## ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СОСТАВ И СВОЙСТВА ЦЕЛЬНОГО МОЛОКА

Р. С. Святненко, А. И. Українець, А. И. Маринин, А. В. Кочубей-Литвиненко  
Національний університет пищевых технологий

В статье исследован характер влияния импульсных электрических полей (ИЭП) на состав и свойства цельного молока. Установлено, что при

обработке цельного молока импульсными электрическими полями в диапазоне напряженности 15...30 кВ / см и продолжительности 10...30 с наблюдается нетепловой эффект роста температуры сырья до 45...85 °С. При этом прирост температуры коррелировал с напряженностью и продолжительностью обработки. В ходе исследований существенных изменений состава и физико-химических показателей молока при всех режимах обработки не обнаружено. Установлено отсутствие фосфатазы в образцах цельного молока после действия импульсных электрических полей при напряженности 15 кВ / см в течение 27 с и напряженности 30 кВ / см в течение 20...27 с. Исследована динамика титруемой кислотности в образцах цельного молока, обработанного ИЭП при разных режимах, при хранении.

**Ключевые слова:** цельное молоко, импульсные электрические поля, температура, физико-химические показатели, фосфатаза.