



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.  
Серія: Харчові технології

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.  
Series: Food Technologies

ISSN 2519-268X print  
ISSN 2707-5885 online

doi: 10.32718/nvlvet-f9806  
<https://nvlvet.com.ua/index.php/food>

UDC 621.37:637.142

## The influence of pulsed electric fields on the dynamics of milk fermentation

R. S. Svyatnenko<sup>✉</sup>, A. I. Marynin, U. H. Kuzmyk, S. V. Pozniakovskiy

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

### Article info

Received 23.06.2022

Received in revised form  
25.07.2022

Accepted 26.07.2022

National University of  
Food Technologies,  
Volodymyrska Str., 68,  
Kyiv, 01601, Ukraine.  
Tel: +38 (044) 289-95-55  
E-mail: Svyatnenko@i.ua

*Svyatnenko, R. S., Marynin, A. I., Kuzmyk, U. H., & Pozniakovskiy, S. V. (2022). The influence of pulsed electric fields on the dynamics of milk fermentation. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 24(98), 30–34. doi: 10.32718/nvlvet-f9806*

Developing and producing competitive milk and milk-containing products with high nutritional, biological value, and long shelf life are promising directions for the innovative development of the dairy industry. Pasteurized products of the whole milk group are of the most significant interest. One of the strategic areas of milk processors' work is to improve the quality of raw materials and their processing technology. In this regard, the development and improvement of physical and biotechnological methods, which improve the microbiological safety of raw materials and, ultimately, increase the shelf life and quality of the finished product, is of undoubted interest. One of the promising innovative methods is the use of pulsed electric fields (PEF). The main advantages of this technology are the preservation of sensory properties of products, versatility, which allows them to be used in various technological processes, and economy due to the use of a whole complex of high-intensity physical factors. In the Problem Research Laboratory of the National University of Food Technologies, experimental studies were conducted to study the effect of pulsed electric fields on the dynamics of milk fermentation using an experimental setup developed by specialists at Kharkiv Polytechnic Institute. A comparative analysis of the physicochemical indicators of PEF with an electric field intensity of 30 kV/cm during 30 s with pasteurization at a temperature of 85 °C was carried out. Significant changes in the composition and basic Physico-chemical parameters of milk did not occur under all processing modes, and the difference in the obtained values of the experimental parameters was within the margin of error. It was also established that when conducting a test on the effectiveness of heat treatment due to the effect of pulsed electric fields in samples of whole milk at a voltage of 30 kV/cm for 30 seconds, the absence of phosphatase and peroxidase was found. This fact means that the proposed processing method achieves the effect of pasteurization. The influence of PEF on the dynamics of fermentation of processed milk was studied, and it was established that PEF processing does not have a negative effect on the dynamics of milk fermentation since the results show that the processed samples do not slow down the process of lactic acid fermentation, which does not affect the reproduction of lactic acid bacteria to obtain the finished product.

**Key words:** pulsed electric field, whole milk, fermentation, mashing.

## Дослідження впливу імпульсних електричних полів на динаміку сквашування молока

Р. С. Святненко<sup>✉</sup>, А. І. Маринін, У. Г. Кузьмик, С. В. Позняковський

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

Розробка та виробництво конкурентоспроможних молочних та молоковісних продуктів з високою споживчою та біологічною цінністю, тривалим терміном зберігання є одним із перспективних напрямків інноваційного розвитку молочної промисловості. Найбільший інтерес із цього погляду становлять пастеризовані продукти цільномолочної групи. Одним зі стратегічних напрямків роботи переробників молока є підвищення якості сировини та вдосконалення технології її переробки. У зв'язку з цим безсумнівний інтерес становить розробка та вдосконалення фізичних та біотехнологічних методів, що дозволяють поліпшити мікробіологічну безпеку сировини та в кінцевому підсумку підвищити якість і збільшити терміни зберігання готового продукту. Од-

ним із перспективних інноваційних методів є використання імпульсних електричних полів (ІЕП). Основними перевагами цієї технології є збереження харчових та смакових властивостей продуктів, універсальність, яка дозволяє застосовувати їх в різних технологічних процесах, економічність завдяки використанню цілого комплексу високоінтенсивних фізичних факторів. В Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій були проведені експериментальні дослідження з метою вивчення дії впливу імпульсних електричних полів на динаміку сквашування молока з застосуванням експериментальної установки, яка розроблена фахівцями в НТУ "Харківський Політехнічний Інститут". Проведено порівняльний аналіз фізико-хімічних показників ІЕП з напруженістю електричного поля 30 кВ/см та часом 30 с з пастеризацією при 85 °С. Як засвідчив аналіз отриманих результатів, суттєвих змін складу і основних фізико-хімічних показників молока не відбувалось за усіх режимів оброблення, а різниця в отриманих величинах дослідних показників перебувала в межах похибки. Також встановлено, що при проведенні проби на ефективність термічного оброблення завдяки впливу імпульсних електричних полів в зразках незбираного молока за напруженості 30 кВ/см протягом 30 с виявлено відсутність фосфатази та пероксидази. Цей факт дає підстави стверджувати, що при запропонованому методі обробки досягається ефект пастеризації. Досліджено вплив ІЕП на динаміку сквашування обробленого молока та встановлено, що обробка ІЕП не має негативного впливу на динаміку сквашування молока, оскільки з результатів видно, що оброблені зразки не вповільнюють процес молочнокислого бродіння, чим не впливають на розмноження молочнокислих бактерій для отримання готового продукту.

**Ключові слова:** імпульсне електричне поле, незбиране молоко, ферментування, скашування.

## Вступ

Важлива роль у забезпеченні та підтриманні життєдіяльності людини належить кисломолочним продуктам, які у загальній структурі виробництва молочної продукції в Україні сьогодні займають 15 %. Одним з популярних кисломолочних продуктів, що широко використовується в раціоні харчування людей у багатьох країнах світу, є йогурт (Jouki et al., 2021). Йогурт – це кисломолочний продукт із підвищеним вмістом сухих речовин, який виробляють сквашуванням молока культурами видів *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*. Даний продукт належить до продуктів функціонального харчування, оскільки вони містять молочнокислі мікроорганізми та біфідобактерії. Пробиотики, що містяться в йогуртах, позитивно впливають на функціонування мікрофлори людини, виконують імунностимулюючу та вітаміноутворюючі функції в організмі (Kambulova et al., 2020).

Для виробництва кисломолочної продукції, зокрема йогурту, необхідно використовувати якісне молоко, яке відповідає органолептичним та фізико-хімічним показникам (Serdyukova et al., 2021).

Відомі технології оброблення молока базуються на його термічному обробленні. Даний тип обробки традиційно використовується в молочної промисловості для продовження терміну зберігання харчових продуктів шляхом усунення патогенних мікроорганізмів, а також сприяння інактивації ферментів (Koca et al., 2018). Незважаючи на ефективність, тепла обробка негативно впливає на оброблений продукт через зміни сенсорних властивостей, таких як колір, текстура та смак (Barba et al., 2012., Shevchenko et al., 2020). Крім того, це може призвести до втрати поживного складу, наприклад, зменшення деяких біологічно активних сполук, втрати вітамінів, окислення ліпідів і денатурації білка, що призведе до низької якості продукту (Choudhary & Bandla, 2012). Іншим недоліком є те, що термічна обробка вимагає високого споживання енерговитрат (Barba et al., 2017).

В даний час у світі широко використовуються інноваційні технології переробки харчових продуктів (Marinin, 2007). Ці нові технології мають переваги, оскільки можуть сприяти значному скороченню часу оброблення порівняно зі звичайними методами, що

призводить до зниження витрат на електроенергію та безпечність харчових продуктів (Misra et al., 2017).

Одним із перспективних інноваційних методів є використання імпульсних електричних полів. Основними перевагами цієї технології є збереження харчових та смакових властивостей продуктів, універсальність, яка дозволяє застосовувати їх в різних технологічних процесах, економічність завдяки використанню цілого комплексу високоінтенсивних фізичних факторів, екологічність за рахунок виключення використання теплової енергії і хімічних консервантів (Svyatnenko et al., 2017).

Даним напрямком досліджень присвячені чисельні роботи професора Бойка М. І., в яких (Boiko et al., 2001; Boiko, 2002), подано опис ІЕП-технології (або КВІД-технології, де КВІД – комплекс високовольтних імпульсних дій), експериментальних установок та камер різних типів для реалізації даної технології. Деякі результати досліджень щодо оброблення рідких харчових продуктів за допомогою КВІД наведено в (Svyatnenko et al., 2016). Автори (Svyatnenko et al., 2017; Svyatnenko et al., 2018), стверджують, що імпульсна обробка дозволяє зберігати харчову і біологічну цінність дослідних зразків порівняно з традиційною тепловою пастеризацією, а тим паче високотемпературною стерилізацією.

## Мета дослідження

Метою даного дослідження було встановити, як впливають ІЕП обробленого молока на динаміку сквашування йогурту.

## Матеріал і методи досліджень

Сквашуванню піддавали такі дослідні зразки: нормалізоване молоко, що пастеризували за температури 85 °С і охолоджували до температури заквашування (40...45 °С) (контроль); нормалізоване молоко, що обробляли ІЕП при 15 кВ/см протягом 30 с і охолоджували за вищезазначеним режимом; нормалізоване молоко, що обробляли ІЕП 30 кВ/см протягом 30 с і охолоджували за вищезазначеним режимом.

Активну кислотність визначали на йонометрі універсальному И-160 М.

Фізико-хімічні показники молока, аналізували за нормативними документами:

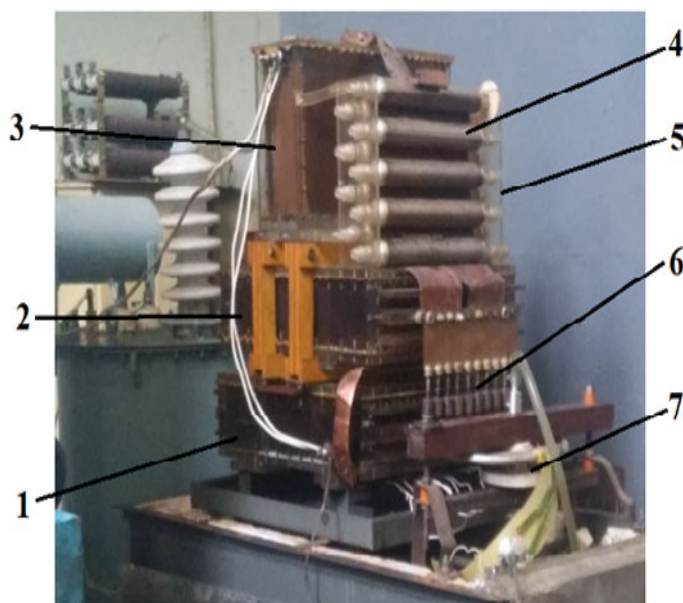
ДСТУ 4834:2007 “Молоко та молочні продукти. Правила приймання, відбирання та готування проб до контролювання”.

Вміст білка, лактози, жиру, сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ), густину визначали на ультразвуковому аналізаторі молока “ЕКОМІLK-Bond”.

Принцип роботи аналізатора заснований на зміні параметрів ультразвукових коливань при проходжен-

ні їх через молоко при заданих температурах і подальшою обробкою вимірювання за рівнянням залежності зміни швидкості і затухання ультразвукових коливань від показників якості (М.Д. жиру, білка, СЗМЗ, точки замерзання, кислотності, провідності, щільності).

Оброблення молока здійснювалося на експериментальній установці, яка розроблена фахівцями НТУ “Харківський політехнічний інститут”, що зображена на [рисунок 1](#).



**Рис 1.** Експериментальна установка для оброблення імпульсними електромагнітними полями рідких середовищ: 1, 2, 3 – високовольтні конденсатори; 4 – багатозазорний розрядник; 5 – захисний екран; 6 – металеві шпильки; 7 – робоча камера (РК);  $L_0$  – дросель; Т – трансформатор ИОМ-100/100;  $L_1-L_3$  – паразитні індуктивності;  $P_1-P_3$  – іскрові розрядники;  $C_1-C_3$  – смісний накопичувач енергії;  $C_0$  – батарея конденсаторів; СК – система керування; С – осцилограф

Установка працює таким чином. При підключенні генератора до мережі ([рис. 1](#)) конденсатор 1 заряджається до напруги, рівної пробивній напрузі багатозазорного розрядника 6. Після пробію цього розрядника відбувається імпульсний заряд конденсатора 2 з ємністю 7.4 або 3.7 нФ до напруги пробією розрядника  $P_2$ . Пробією розрядника  $P_2$ , проходить по високовольтному виводі, який складається з 10 пар змінних електродів, відбувається при утворенні з рівною ймовірністю іскри в будь-якій парі цих електродів. Після спрацювання розрядника  $P_2$  конденсатор 3 з ємністю 3.2 або 1.6 нФ заряджається імпульсно протягом проміжку часу більш короткого, ніж конденсатор 2, внаслідок загострення фронту імпульсу на розряднику  $P_2$  (індуктивності і  $L_3$ - малі і суттєво не перешкоджають процесу загострення). Конденсатор 3 заряджається до напруги пробією розрядника  $P_3$ , що містить, як і  $P_2$ , десять пар конфронтуючих електродів. Спрацювання конденсатора 3 забезпечує друге загострення (укорочення) фронту імпульсу і подачу імпульсу на навантаження.

## Результати та їх обговорення

Оскільки основною сировиною для виробництва йогуртів є молоко, першим етапом досліджень було встановлення впливу ІЕП на фізико-хімічні показники обробленого молока.

Відповідно до результатів, наведених в табл. 1, встановлено, що обробка ІЕП не відрізняється від традиційної пастеризації й фізико-хімічні показники схожі.

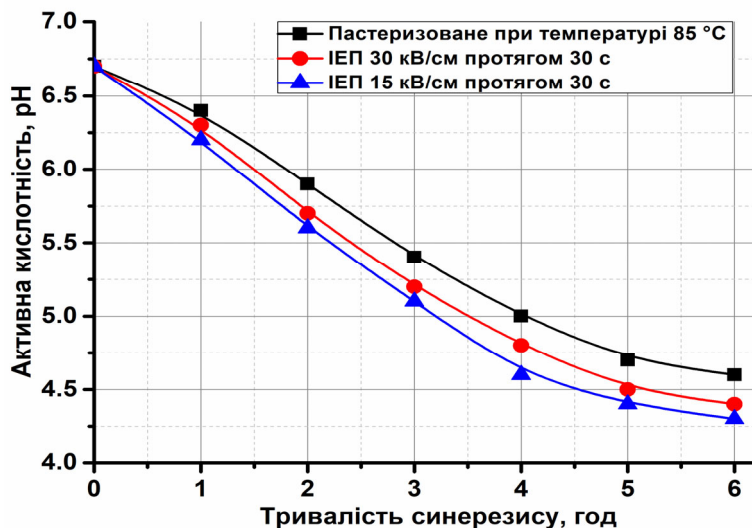
Варто зазначити, що при дослідженні на ефективність термічного оброблення в зразках незбираного молока після дії ІЕП за напруженості 15 кВ/см протягом 30 с і напруженості 30 кВ/см протягом 30 с виявлено відсутність фосфатази та пероксидази. Цей факт дає підстави стверджувати, що за ІЕП-обробкою досягається ефект пастеризації.

Визначивши фізико-хімічні показники молока ([табл. 1](#)), ми дослідили динаміку ферментування ([рис. 2](#)) та тривалість синерезису молока ([рис. 3](#)).

**Таблиця 1**

Фізико-хімічні показники незбираного молока до та після оброблення

Показники	Вихідне незбиране молоко	Пастеризоване молоко	Оброблене ІЕП 30 с при 30 кВ/см
Масова частка %:			
Жир	3,57	3,56	3,54
СЗМЗ	7,8	7,9	7,7
Білок	2,91	2,81	2,92
Лактоза	4,40	4,40	4,40
Густина кг/м <sup>3</sup>	1027,0	1027,5	2028,2
Фосфатаза	+	-	-
Пероксидаза	+	+	-

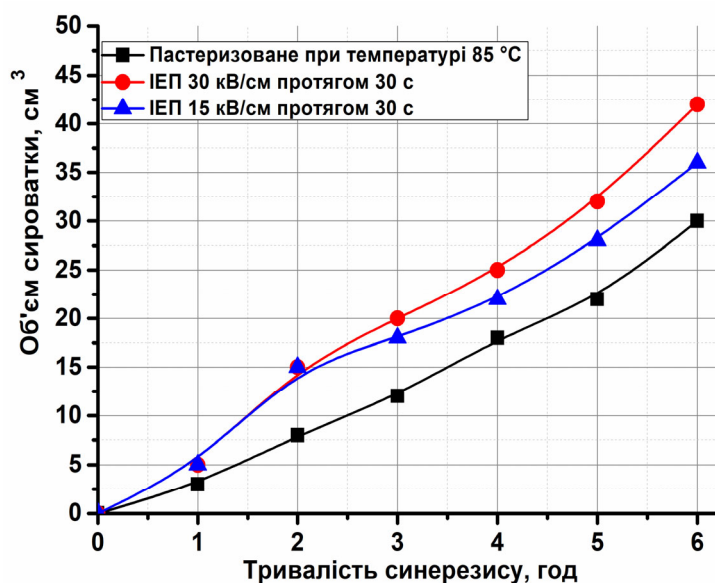


**Рис. 2.** Динаміка ферментування дослідних зразків молока в оброблених зразках порівняно з традиційною технологією

Динаміка наростання кислотності в досліджуваних зразках мала подібну тенденцію. Встановлено, що швидкість наростання кислотності в зразках нормалізованого молока, попередньо оброблених ЕП, була дещо вищою за контроль. Це можна пояснити відсут-

ністю впливу на нативні властивості молока, структуру білка, сольовий баланс.

В усіх дослідних зразках через 6 годин ферментування утворювався щільний кисломолочний згусток (рис. 3).



**Рис. 3.** Тривалість синерезису оброблених зразків

З результатів (рис. 2–3) видно, що оброблені зразки ІЕП не вповільнюють процес молочнокислого бродіння, чим не впливають на розмноження молочнокислих бактерій для отримання готового продукту.

### Висновки

Проведено порівняльний аналіз фізико-хімічних показників ІЕП 30кВ/см протягом 30 с з пастеризацією при 85 °С. Встановлено, що обробка ІЕП не гірша від пастеризаційної. Досліджено вплив ІЕП на динаміку сквашування обробленого молока та виявлено, що обробка ІЕП не має негативного впливу на динаміку сквашування йогурту, оскільки з результатів видно, що оброблені зразки не вповільнюють процес молочнокислого бродіння, чим не впливають на розмноження молочнокислих бактерій для отримання готового продукту. Результати досліджень продемонстрували високу якість і безпеку оброблювальних зразків, що робить одержані результати дуже перспективними для широкомасштабного впровадження у харчовій промисловості.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

### References

- Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frigola, A. (2012). High-pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 307–322. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2012.00185.x.
- Barba, F. J., Koubaa, M., Prado-Silva, L., Orlie, V., & Sant'Ana, A. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 20–35p. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.05.011.
- Boiko, N. Y. (2002). Tehnologii, osnovannye na vozdeystvii sil'nykh impul'snykh jelektricheskikh polej. Tehnicheskaja jelektrody-namika. Tematicheskij vypusk Problemy suchasnoj jelektrotehniki, 6, 94–99 (in Russian).
- Boiko, N. Y., Tur, A. N., Evdoshenko, L. S., Ivanov, V. M., Zaročentsev, A. Y., Rudakov, V. V., Bozhkov, A. Y. (2001). Ustanovka dlja obrabotki tekushchih produktov pri pomoshhi kompleksa vysokovol'tnykh impul'snykh dvigatelej i rezul'tatov issledovanija. Tehnicheskaja jelektrodinamika, 4, 59–63 (in Russian).
- Choudhary, R., & Bandla, S. (2012). Ultraviolet Pasteurization for Food Industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2(1), 12–15. DOI: 10.5923/j.food.20120201.03.
- Jouki, M., Khazaei, N., Rezaei, F., & Taghavian-Sacid, R. (2021). Production of synbiotic freeze-dried yoghurt powder using microencapsulation and cryopreservation of *L. plantarum* in alginate-skim milk microcapsules. *International Dairy Journal*, 122, 105133. DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.105133.
- Kambulova, Yu., Zviahintseva-Semenets, Yu., Shevchenko, A., & Kokhan, O. (2020). Study of structural-mechanical characteristics of emulsion-foam systems of milk cream and hydrocolloids. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI – Food Technology*, 44(2), 85–103. DOI: 10.35219/foodtechnology.2020.2.06.
- Koca, N., Urgan, M., & Saatli, T. (2018). Ultraviolet light applications in dairy processing. In KOCA (Ed.). *Technological Approaches for Novel applications in dairy processing Intech Open* (Chapter 1). DOI: 10.5772/intechopen.74291.
- Marinin, A. I. (2007). Rozroblennja ta zastosuvannja impul'snogo elektrogidravlichnogo sposobu obrobennja sirovini roslinnogo pohodzhennja. PhD diss. (in Ukrainian).
- Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R. S., et al. (2017). Landmarks in the historical development of twenty-first century food processing technologies. *Food Research International*, 97, 318–339. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.05.001.
- Serdyukova, Y. P., Kazarova, I. G., Zakurdaeva, A. A., Gorlov, I. F., Anisimova, E. Y., & Mosolova, N. I. (2021). Fermented goat milk product: Improvement of the production technology. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677(3), 032083. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032083.
- Shevchenko, O. Iu., Simakhina, H. O., Shevchenko, A. O. (2020). Ozdorovche kharchuvannja v konteksti prodovolchoi bezpeky v Ukraini. *Naukovi pratsi NUKhT*, 26(6), 36–43. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/33480/1/ssaoohvkptvu.pdf> (in Ukrainian).
- Sviatnenko, R. S., Ukrainets A. I., Marynin, A. I., Kochubei-Lytvynenko, O. V., Boiko M. I. (2018). Vplyv impul'snykh elektrychnykh poliv na aminokyslotnyi sklad nezbyranoho moloka. *Naukovi pratsi NUKh*, 1, 119–126. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/26850> (in Ukrainian).
- Sviatnenko, R., Marynin, A., Kochubei-Litvynenko, O., & Boyko, M. (2017). Doslidzhennja vplyvu impul'snykh elektromagnitnykh poliv na orhanoleptychni pokaznyky nezbyranoho moloka. *NV LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii*. Seria: Kharchovi tekhnologii, 19(75), 157–160. URL: <https://nvlvet.com.ua/index.php/food/article/view/3075> (in Ukrainian).
- Sviatnenko, R., Marynin, A., Makogon, A., & Fursik, O. (2017). Vplyv impul'snykh elektrychnykh poliv na mikrobiologichni pokaznyky ta vmist vitaminu S v nezbyranomu molotsi. *NV LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii*. Seria: Kharchovi tekhnologii, 19(80), 29–32. DOI: 10.15421/nvlvet8006 (in Ukrainian).
- Sviatnenko, R., Marynin, A., Kochubei-Litvynenko, O., & Zakharevych, V. (2016). Vplyv impul'snogo elektromagnitnogo polia na zhyttiezdattist escherichia coli v modelnomu rozchyni molochnoi syrovatky. *nvlvet veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii*. Seria: Kharchovi tekhnologii, 18(2), 92–94. DOI: 10.15421/nvlvet6818 (in Ukrainian).