

## УСТАНОВКИ ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

Лисиченко М. Л.<sup>1</sup>, Жила В. І.<sup>1</sup>, Піскун В. І.<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,<sup>2</sup>Інститут тваринництва НААН України

*В статті розглянуті існуючі установки для пастеризації сирого молока щодо збереження його природної цінності, якості знищення шкідливої мікрофлори та енергоефективності процесу знезаражування.*

**Постановка проблеми.** Сталий розвиток агропромислового виробництва (АПВ) України – одна з головних умов соціально-економічної стабільності суспільства, зміцнення економічної безпеки держави [1]. Пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки в нашій державі є [2]:

- Фундаментальні дослідження найважливіших проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави.

- Інформаційні та комунікаційні технології.
- Енергетика та енергоефективність.
- Раціональне природокористування.
- Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань.
- Нові речовини і матеріали.

Стабільний розвиток АПВ країни неможливий без розробки та ефективного впровадження сучасних енергозберігаючих електротехнологій.

Молоко – цінний біологічний продукт до складу якого входять жири, білки, лактоза, вітаміни, мікроелементи тощо. Якість молока, як продукту споживання, залежить від наявності в ньому різних мікроорганізмів, в тому числі і патогенних (відповідна перевірка проводиться по ГОСТ 9225-84). При чому, чим більша кількість бактерій, тим нижча якість молока [3]. Мікроорганізми існують у молоці на будь-якому етапі його заготівлі та переробки, але все залежить від їх кількості та шкідливості.

Пастеризація – один із найпоширеніший способів знешкодження мікроорганізмів, що викликають пороки молока, захворювання людей та тварин [4]. Від температури, тривалості дії на молоко, а також від засобів і способів обробки залежить харчова цінність та технологічні якості продукту при подальшій переробці. Тобто необхідно застосовувати технології та обладнання, які мінімально змінюють якісні показники молока, при цьому гарантовано забезпечують його нешкідливість для споживача і мають мінімальні енергозатрати.

Найбільш повно цим вимогам відповідають електричні пастеризатори, які характеризуються вищим рівнем автоматизації та ККД, екологічно чистих в експлуатації та мало металоємких, простих в керуванні та завжди готових до роботи, порівняно з традиційними пароводяними установками.

Недоліком обладнання для пастеризації (70-90 °С) молока є наявність високих температур, що призво-

дить до зменшення біологічної цінності молока внаслідок часткової зміни біохімічного його складу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перші повідомлення про застосування електропастеризаторів відносяться до початку ХХ сторіччя, про що свідчить інформація "Записок Николаевского отделения Русского технического общества" (1903 р.) про використання електрики для стерилізації молока [5]. У тому ж році журнали "Электричество" та "Ветеринарный фельдшер" публікують матеріали про електропастеризацію й стерилізацію молока [6,7]. У 1904 р. в німецькому журналі "Molhereizeitung" з'являється публікація щодо стерилізації молока змінним струмом [8].

З розвитком техніки і технології розвивались електропастеризатори. Серед тих хто заклав фундамент теорії конструювання електропастеризаторів були: академік Перов С. С., професори Худяков М. М., Парашук В. С., Зайковський Я. С. та ін. (СРСР), Карл Бертлей (США), Антон Шейдер (Великобританія), Франц Зейдель і Роман Хеллер (Австрія), професор Атен (Нідерланди) [9].

Далі з'являються повідомлення про використання ультрафіолетових (УФ) променів для обробки молока [10], ультразвуку (УЗ) [11,12] та індукційного нагрівання [13].

В середині тридцятих років професор Г. А. Кук обґрунтував розрахунок основного обладнання для підприємств молочної промисловості [14], а в 40-50-ті роки важливий внесок до розвитку теорії та практики теплової обробки молока електричним струмом був зроблений професором Є. П. Виноградовим [15].

Подальше удосконалення конструкції електропастеризаторів й теорії, що описує конкретні процеси обробки молока, розвивалося в таких напрямках:

- ультразвукові установки (УЗ);
- установки ультрафіолетового опромінення (УФ опромінення);
- установки інфрачервоного опромінення (ІЧ опромінення);
- іонізуючого радіаційного опромінення;
- лазерного опромінення;
- діелектричного нагрівання – високочастотні (ВЧ) та надвисокочастотні (НДЧ);
- індукційного нагрівання ( $f=50 \text{ Гц}$ );
- роторні (гідралічного нагрівання);
- вакуумні ("мікробибух" бактерій);
- нагріванням опором – прямим та побічним електронагріванням;
- ультраочищенням (бактофуги) .

Дослідження ультразвукової дії почалося в кінці 30х років у США. У повоєнні роки професор Н.Стенлі публікує результати своїх досліджень щодо знешкодження бактерій при обробці молока УЗ хвилями [16]. Певну зацікавленість викликають дослідження А.Я. Шайхаєва та М.М. Макаревича які свідчать, що коливання частотою  $26,5 \cdot 10^3$  Гц з амплітудами 35, 55 і  $65 \cdot 10^{-6}$ м згубно діють на патогенну бактерію туберкульозу [17]. Однак УЗ дія приводить до гомогенізації молока, що ускладнює його використання для отримання масла. Крім того, обладнання має високу вартість й підвищує питомі втрати на обробку молока.

Використання УФ опромінення для стерилізації молока з довжиною хвилі від 10 до 400 нм є одним з різновидів оптичного випромінювання і має привабливі енергетичні показники завдяки "холодній" пастеризації та високі результати інактивації мікрофлори [18]. Воно умовно ділиться на чотири характерних області спектра. Область А (315-400 нм) з відносно невеликою біологічною активністю. Випромінювання області В (280-315 нм), здатне перетворювати провітамін В в активно діючий вітамін D3. Випромінювання області С (200-280 нм) має сильну бактерицидну дію на продукт. Випромінювання області D (10-200 нм) сильно поглинається повітрям і отримало назву вакуумного УФ випромінювання.

Області випромінювання С і В становлять значний інтерес для практики. Область С - забезпечує знезараження молока.

Область В - підвищує вміст вітаміну D3 в молоці. Проникаюча здатність УФ випромінювання в молоко незначна. Якість молока УФ-випромінювання залежить від температури молока, кількості жиру і розмірів жирових кульок.

Молоко пастеризоване УФ випромінюванням суттєво не змінює органолептичні і фізико-хімічні показники, не знижує і технологічних якостей при його подальшому використанні для виробництва деяких сирів.

Обробка молока УФ випромінюванням здійснюється без значного підвищення температури продукту, в залежності від використання певних УФ ламп.

З явних недоліків впливу на біологічну цінність продукту:

- можливе часткове руйнування вітамінів В1, В2, С та денатурація білка;
- значні дози УФ випромінювання можуть викликати структурні зміни компонентів молока: замість вітаміну D3 утворюються речовини, які не мають вітамінної дії, в кращому випадку - нешкідливі для організму людини, але іноді можуть бути токсичними;
- при УФ-випромінюванні спостерігається зміна смаку молока - воно набуває слабкий присмак пастеризованого молока;
- використання потужних УФ джерел випромінювання збільшує ступінь іонізації кисню та додатково генерується озон, що при певних їх концентраціях є небезпечним для обслуговуючого персоналу.

Відома установка для обробки молока ультрафіолетовим випромінюванням з метою інтенсифікації процесу вітаміноутворення [19]. Недоліком вказаної установки є використання люмінесцентних ламп типу

ЛЭ для активізації процесу вітаміноутворення, а ламп типу ДБ – для стерилізації. З огляду на наявність широкого спектру випромінювання у ламп ЛЭ і ДБ важко забезпечити адресний вплив на ті чи інші клітини та молекули, що значно знижує ефективність процесу опромінювання молока і збільшує, відповідно, енерговитрати.

ІЧ випромінювання - електромагнітне випромінювання, що займає найбільшу частину оптичної області спектра (760-10700 нм), знайшло практичне застосування для обробки молока завдяки помірному впливу на продукт.

ІЧ випромінювання має однакову природу з УФ випромінюванням, але відрізняється від нього впливом на фізичні, хімічні та фізіологічні властивості продукту, що оброблюється. Внаслідок меншої енергії своїх квантів ІЧ випромінювання не викликає фотохімічних реакцій, що дуже важливо для технологічного процесу пастеризації молока.

Основні переваги використання ІЧ випромінювання полягають в тривалості часу обробки молока (3-5 с) та низькій деітамінізації.

Проведені раніше дослідження впливу ІЧ випромінювання на молоко показало, що процес пастеризації супроводжується зниженням кількості мікроорганізмів, без істотних змін вмісту білків (альбумін, казеїн) і вітамінів: А, каротину (провітаміну А), В1, В2 і С. При такій обробці вміст вітамінів у молоці вищий, ніж в молоці обробленому в пароводяних теплообмінних апаратах.

Обробка молока ІЧ випромінюванням, з доведенням його температури пастеризації до  $75 \pm 2$  °С, показує повну інактивацію лужної фосфатази, а отже відсутності кишкової палички. Це свідчить про гігієнічну надійність даного режиму пастеризації.

Стійкість молока після ІЧ пастеризації становила: при температурі зберігання 37 °С - більше 7 год., при 27 °С - від 17 до 24 год., при 18 20 °С- від 36 до 60 годин.

Мікрофлора, що залишилася в молоці після ІЧ пастеризації, порівняно інертна і істотно не знижує його стійкість.

Ефективність ІЧ пастеризації молока і подальший термін зберігання, відповідає ефективності і стійкості молока при традиційній термічній обробці. Органолептичні показники отриманого молока після ІЧ пастеризації дещо вищі.

Відома установка для інфрачервоного опромінювання молока з метою подовження його терміну зберігання у вигляді ніхромової спіралі навитої на кварцову трубку, по якій воно протікає [20]. Головні недоліки цих установок:

- значна встановлена потужність (5-20 кВт);
- підвищена небезпека ураження електричним струмом внаслідок наявності відкритої спіралі.

Застосування ВЧ та НВЧ хвиль забезпечує режими пастеризації, крім того сприяє об'єднанню жирових кульок та збільшенню виходу вершкового масла при подальшій переробці [21], однак суттєвим недоліком вказаного процесу є підвищені енерговитрати (0,05-0,06 кВт/год/л).

Удосконалення індукційних електропастеризаторів здійснювалось шляхом створення проточних апа-

ратів (з трубчастим індуктором) та пристроїв періодичної дії (з ємкісним індуктором) [22]. Широкого розповсюдження це обладнання не знайшло через низькі енергетичні показники та зміну якості свіжого молока.

Нагрівання молока в гідродинамічній вихровій машині з високими турбулентністю та гідравлічним опором також забезпечує знешкодження шкідливих бактерій, однак енергетичні витрати при цьому знаходяться на рівні теплових пастеризаторів з ККД =0,55-0,8 [23].

Вакуумна стерилізація харчових рідин, в т.ч. молока, при зниженому тиску використовує ефект "мікробибуху" бактерій без нагрівання [24], але при цьому "вибухають" не тільки бактерії, а й подрібнюються жирові кульки, що подібно процесу гомогенізації, тобто спостерігається зниження якості продукту.

Електродні пастеризатори молока прямого нагрівання та апарати інфрачервоного опромінення мають високий енергетичний к.к.д., а пастеризаційний ефект 99,97%, але встановлена потужність установок має 12-16 кВт на тону молока [25].

Відомі установки для пастеризації молока до температури 72-90 °С за допомогою електродного нагрівача, електроди якого виконані із титану [26]. Недоліками даної установки є:

- необхідність нагрівання молока до високих температур ( $\approx 90$  °С), що призводить до значних енер-

говитрат через необхідність забезпечення щільності струму в діапазоні  $0,8-1,0 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$ ,

- підвищені температури негативно впливають на біологічну якість продукту.

Обробка молока в бактофузі з частотою обертання  $24 \cdot 10^3$  об/хв з температурою 58 °С значно зменшує бактеріальну забрудненість продукту і збільшує термін його зберігання до 10 діб [27]. Процес широко використовується за кордоном, але теж має значні енерговитрати.

Проводяться дослідження застосування іонізуючої радіації для обробки термолабільних харчових продуктів. Його дія ґрунтується на специфічному пошкодженні структур та порушенні біохімічних процесів в мікробній клітині. Отримані результати свідчать про можливість застосування цього способу при умові радіаційної безпеки [28].

**Мета дослідження.** Обґрунтування ефективних способів знешкодження шкідливих мікроорганізмів в молоці та пошук перспективних енергозберігаючих технологій.

**Основні матеріали дослідження.** Проведений аналіз науково-технічної літератури дозволяє скласти класифікацію способів обробки молока з метою знищення шкідливих мікроорганізмів і подовження терміну його зберігання (рис. 1).

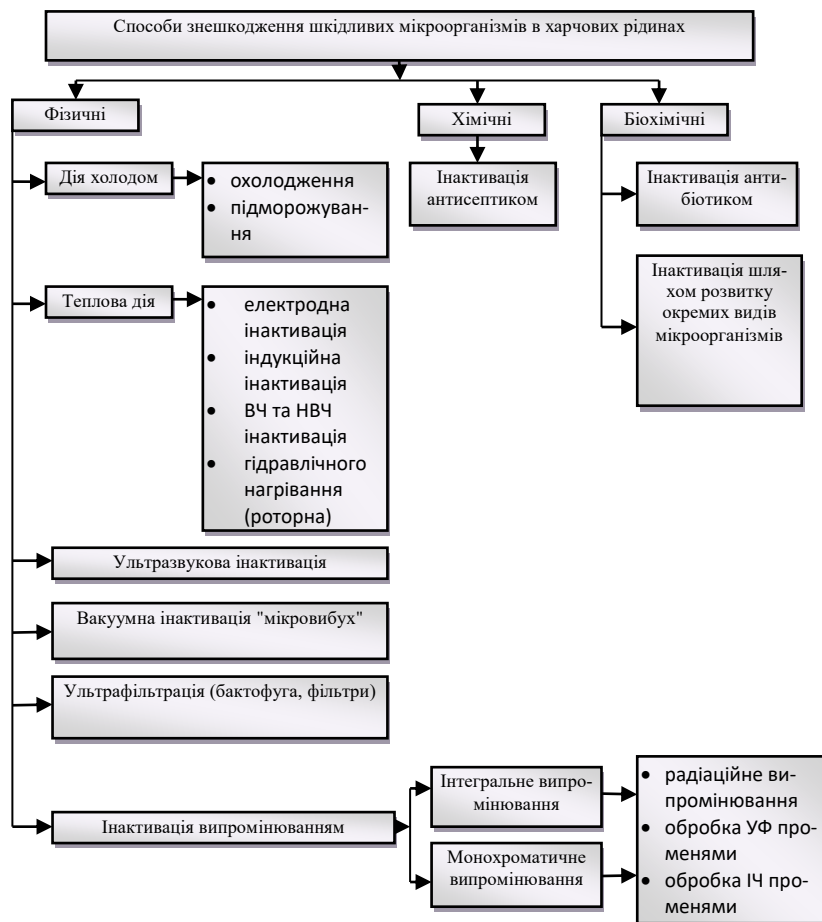


Рисунок 1 - Способи обробки молока з використанням різних факторів впливу.

Перспективним напрямом пастеризації молока є обробка його когерентним оптичним (лазерним) випромінюванням низької інтенсивності, що дозволяє в природних умовах при 20-24 °С забезпечити його триваліше зберігання (при чому температура обробленого молока збільшується менше ніж на 2°С).

Дослідження показали, що через 5 годин після доїння та обробки лазерним опромінюванням кислотність молока складала -20°Т тоді як в необробленому молоці - 22°Т [29].

Питомі витрати електроенергії при різних способах пастеризації молока наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Питомі витрати електроенергії при різних способах пастеризації молока

Способи	Питомі витрати електроенергії, кВт·год./л
Електродний пастеризатор "Атена", 220 В	0,071
Високочастотний пастеризатор молока (Виноградова, 40,68 МГц)	0,05...0,06
Установка для обробки молока УОМ-ИК-1	0,016...0,025
Активізатор молока (УФ- та ІЧ - опромінення)	0,0178...0,021
Установка бактерицидної обробки молока УБО-М (УФ-опромінення)	0,0166...0,019
Електропастеризатор А1-ОПЭ-1000 (ІЧ- опромінення)	0,028
Низькоінтенсивне інфрачервоне опромінювання молока – лазерна обробка (ООМ-1)	0,024

Лазерна технологія дозволяє вирішити більшість проблем молочної індустрії, а саме [30]:

- підвищити якість вхідного сирого молока за бактеріальним забрудненням - на порядок;
- за термостійкістю – на 1-3 групи;
- за кислотністю – на 1-3 Т.

Лазерні модулі легко влаштовуються в любую технологічну лінію без зупинки виробництва, відносно дешеві, споживають невелику кількість електроенергії (~ 100 Вт/год.) [31].

Авторами запропоновано конструкцію лазерного модуля, в якому обробка молока здійснюється завдяки застосуванню скляного оптично прозорого кільцевого трубопроводу із розміщенням всередині та зовні напівпровідникових лазерів. При чому, лазери розміщені з обох сторін потоку молока по черзі з максимумом випромінювання – 1,74 мкм і 0,41 мкм, які працюють в імпульсному режимі.

Завдяки вибірковій дії лазерного випромінювання мікрофлора молока активно поглинає енергію квантів вказаної довжини хвилі, якої достатньо для руйнування її захисної оболонки, при цьому, на кульки жиру, які більші майже в 10 разів, вплив енергії мінімальний.

Час проходження молока через пристрій обумовлюється продуктивністю пристрою, швидкістю рідини та величиною дози опромінювання.

Модуль працює таким чином (рис. 2): молоко 2 рухається потоком у кільцевому каналі 1, з обох сторін якого послідовно встановлені напівпровідникові лазери 4, а навпроти кожного з них розміщені фотодатчики 3 які здійснюють контроль рівня випромінювання 6.

Напівпровідникові лазери встановлені навколо потоку молока 5, мають максимуми випромінювання відповідно до максимумів поглинання основних складових зовнішньої оболонки шкідливої мікрофлори, а саме для жиру – 1,74 мкм 7 і для білка 0,40 мкм 8.

Після лазерної обробки молоко потрапляє в танкоохолоджувач для подальшого зберігання при температурі 4-8 °С. Використання запропонованого при-

строю для лазерної обробки молока забезпечує уповільнення зростання кислотності, що подовжує термін зберігання молока до 5,5 годин у стані першого гатунку в порівнянні з необробленим [32].

**Висновки.** Використання лазерного випромінювання для знешкодження шкідливих мікроорганізмів в молоці є більш енергоефективним ніж теплові методи, так як відсутнє нагрівання продукту. Крім того, обладнання менш матеріаломістке бо не вимагає теплообмінника й котла. Якість сирого молока підвищується за рахунок зменшення його бактеріального забруднення та кислотності.

Необхідно продовжити дослідження спектральних характеристик молока для забезпечення вибіркової дії лазерного випромінювання.

#### Список використаних джерел

1. Стратегія розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2013 р. № 806-р.
2. Закон України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" від 11 липня 2001 р. № 2623 – Ш.
3. Ефимочкина Н. Р. Наиболее значимые виды микроорганизмов молока и молочной продукции / Молочная промышленность. – 2016. – № 10. – С.43-50.
4. Ковалев Ю. Н. Установки для пастеризации молока. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 80 с.
5. Николаев Н. М. Электрическая стерилизация молока / Н.М. Николаев // Записки Николаевского отделения Русского технического общества. – 1904. – Вып.8. – С. 19.
6. Гуарин А. И. Электрическая стерилизация молока / А. И. Гуарин, М. Н. Смарин // Электричество. – 1904. - № 11. - С.92.
7. Щербинин Н. Н. Пастеризация и стерилизация молока / Н. Н. Щербинин // Ветеринарный фельдшер. – 1904. - № 3.-С.41.

8. Petersen F. / Untersuchung iiber den electrischen widerstand der Milch. // Molkereizeitung. – 1904. - № 52 – P.19.
9. Виноградов Е. П. Теория и расчет электрических пастеризаторов прямого действия / Е. П. Виноградов // Научные записки ХИМЭСХ. – 1947. – Вып. 3. – С. 3-25.
10. Гизатулин В. Г. Оптическое облучение молока / В. Г. Гизатулин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1975. - № 12. - С. 25-26.
11. Chamers B. A. Pasteurizing by sound. / B. A Chamers., N. Gaines // Milk Dealer. – 1932. – Vol. 21, Apr. – P. 40-41.
12. Sterilizing milk with sound waves. // Scientific American. – 1932. – vol. 146, June. – P. 367.
13. Нейсс О. С. Пастеризация молока посредством индукционного нагрева / О. С. Нейсс // Электрификация сельского хозяйства. - 1933. - № 5.- С.36.
14. Кук Г. А. Теория расчета тепловых аппаратов для обработки молока. / Кук Г. А. – М. : Сельхозгиз, 1936. – 298 с.
15. Виноградов Е. П. Электропастеризация молока / Х.: Издательство Харьковского Государственного Университета им. А. М. Горького, 1955. – 155 с.
16. Stanlev H. Killing bacteria with ultrasonic waves explored at Illinois / H. Stanlev // American Milk Review. – 1949. – June, Vol. 11. – P. 42.
17. Шайхаев А. Я. Влияние низкочастотного ультразвука на микобактерии туберкулеза. / А. Я. Шайхаев, Н. Н. Макаревич // Проблемы туберкулеза.- 1989. - № 3. - С.41-42.
18. А. С. №1450804 СССР, МКИ 4 А23С 3/07. Способ инактивации микрофлоры / Кузьмин Э. В., Корниенко М. Г. (СССР). – заявлено 10.03.86; Опубл. 15.01.89, Бюл. № 2.
19. А. С. СССР № 656297 МПК<sup>5</sup> А01 J 11/00 Установка для обработки молока ультрафиолетовым излучением / В. Г. Гизатулин - №2496021/13; Заявл. 06.06.1977; Опубл. 15.12.1993; Бюл. № 45-46. – 3 с.
20. А. С. СССР № 1544340 МПК<sup>5</sup> А23С 3/02 Аппарат для облучения жидкостей / П. В. Гаврилов, В. И. Петухов, Л. Н. Друзь - № 4414733/30-13; Заявл. 25.04.1988; Опубл. 23.02.1990; Бюл. № 7. – 3 с.
21. Чернова А. С. Антимикробное действие СВЧ колебаний электромагнитного поля, санитарные и некоторые другие аспекты их применения: Автореф. дис. д-ра техн. наук: Ленинградский ветеринарный институт. Л.: - 1974.- 35 с.
22. Кисель О. Б. Расчет индукционного проточного пастеризатора молока / О. Б. Кисель, Б. А. Колобов // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. - № 5. – С. 35 – 37.
23. Пат. Рос. Федерация, №2045910 МКИ 6А23С 3/02, А23L 3/16 Устройство для термообработки жидких пищевых продуктов. / Кринский А. Ю., Буторин А. Н., Егоров В. И., Левицкий В. В. (Россия).- Заявлено 30.06.94; Опубл. 20.10.95, Бюл. № 9.
24. Пат. Рос. Федерация, № 2030873 МКИ 6А23С 3/02. Способ вакуумной стерилизации жидких пищевых продуктов и устройство для его осуществления. / Камарчев И. Г. (Россия). - Заявлено 19.09.91; Опубл. 20.03.95, Бюл. № 8.
25. Магда В. И., Жила В. И., Кунденко Н. П. и др. Разработка нового оборудования для тепловой обработки молока. // Вівчарство, 1998. – Вып. 30.- С.117-120.
26. А. С. №1427631 СССР, МКИ А23С 3/02 Способ пастеризации молока. / В. И. Магда, Л. Н. Друзь (СССР). - № 4072516/30-13; Заявлено 04.06.86. – 3 с.
27. Харитонов В. Д. К вопросу о холодной пастеризации жидкостей на сепараторах / В. Д. Харитонов, И. А. Глебов, А. В. Карамзин // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья, № 7, 2004. – С. 4.
28. Arvanityannis I.S. Irradiation of food commodities: techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer opinion. Elsevier, 2010.
29. Астапов А. Ю. Устройство для оптической обработки молока / А. Ю. Астапов, Н. А. Грачева, С. Ю. Астапов // Вестник МичГАУ, № 2. - 2012. - С. 82-85.
30. Лисиченко М. Л. Дослідження процесу лазерної обробки молока / М. Л. Лисиченко, В. І. Жила, В. С. Манойло, В. В. Білодід // Матер. XXXIX Межд. науч.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (22-24 мая 2013г.) – Х.: НПМБК "Лазер и здоровье", 2013. – С. 141-142.
31. Мурашов И.Д. Влияние ультраструйной и лазерной обработки на обсемененность молока – сырья / И. Д. Мурашов, В. И. Ганина, В. В. Морозова // Молочная промышленность, № 4, 2015. - С. 16-18.
32. Патент на корисну модель № 128615, Україна. МПК (2018.01) А01J11/00, Пристрій для подовження терміну зберігання молока / В. І. Жила, М. Л. Лисиченко (Україна) – № у 2018 03973, заявл. 12.04.2018; опубл. 25.09.2018. Бюл. № 18. – 4 с.

#### Аннотация

#### УСТАНОВКИ ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

Лисиченко М. Л., Жила В. И.,  
Пискун В. И.

*В статье рассмотрены существующие установки для пастеризации сырого молока по сохранению его природной ценности, качества уничтожения вредной микрофлоры и энергоэффективности процесса обеззараживания.*

#### Abstract

#### INSTALLATIONS FOR MILK PASTEURIZATION

M. Lysychenko, V. Zhyla, V. Piskun

*The article considers existing installations for pasteurization of raw milk for the preservation of its natural value, the quality of destruction of harmful microflora and the energy efficiency of the process of obesity-infestation.*