ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА ДЛЯ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА

БАЙРАМОВ Тархан Хаким оглы, Научно-исследовательский институт "Агрономеханика"

В статье рассмотрен экспериментальный актинатор с использованием одновременного воздействия на тонкий слой потока молока инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. Актинатор состоит из вертикального цилиндрического корпуса, внутри которого соосно размещен цилиндр, ИК-нагреватель, изготовленный из прозрачного кварцевого стекла и намотанный спирально (из нихромового провода), расположенного на его верхней части формирователя тонкого слоя молока в виде полого шара, соединенного с рабочим цилиндром в нижней части накопителя готового продукта в виде усеченного конуса и патрубка для отвода готового продукта, УФ-облучательной лампы, распылителя жидкости крестообразной формы, вмещенный внутри формирователя тонкого слоя молока, соединенный с ним патрубком для подачи начального продукта, связанная с ним через трубопровод, крана регулировки давления и расхода молока, насоса и бака для исходного продукта с краном. Методической основой для расчета была использована аналитическая разработка теплообмена излучением.

Введение. Производство высококачественного молока, недопущение потерь и снижение себестоимости продукции – первостепенные задачи молочно-товарных ферм. На основании опыта зарубежных производителей предупреждение потерь и снижение себестоимости молока и молочной продукции возможно при соответствующей технической оснащенности не только крупных, но и малых животноводческих ферм [10, 17]. Основной проблемой молочных предприятий и животноводческих ферм, осуществляющих сбыт сырья, является его короткий срок хранения. Кроме того, неудовлетворительное санитарное качество молока является одной из главных причин заболевания и падежа телят молочного периода, особенно в период от рождения до трехмесячного возраста выращивания [1, 18]. Увеличение срока хранения возможно за счет пастеризации молока [9, 12, 15]. Однако в условиях хозяйств это дорогостоящая операция. Наличие современных технологий и технических средств по термической обработке молока значительно влияет на себестоимость продукции. В этом отношении изыскание прогрессивных методов пастеризации молока на фермах, создание компактных малогабаритных недорогих и энергоэффективных технологических установок является актуальной задачей отрасли.

Методика исследований. Следует отметить, что в решении вышеуказанной задачи все более распространенным становится метод актинизации, то есть воздействие на молоко излучением ультрафиолетовой инфракрасной области спектра электромагнитных волн [2, 6, 8, 11]. Объектом исследования взят разработанный авторами экспериментальный актинатор (получивший положительное решение на полезную модель от Агентства интеллектуальной собственности и Центра экспертизы патентов и

товарных знаков Азербайджанской Республики U 2019 0012), осуществляющий одновременно обработку молока инфракрасными и ультрафиолетовыми лучами (рис. 1).

Актинатор, содержащий вертикальный цилиндрический корпус, внутри которого соосно размещен рабочий цилиндр ИК-нагревателя изготовленный из прозрачного кварцевого стекла и намотанный спиралью (из нихромового провода), расположенный на его верхней части формирователь тонкого слоя жидкости в виде полого шара, соединенный с рабочим цилиндром в нижней части накопителя готового продукта в виде усеченного конуса и патрубка для отвода готового продукта, УФ-облучательной лампы, распылителя жидкости крестообразной формы и вмещенной внутри формирователя тонкого слоя жидкости, соединенный с ним патрубка для подачи начального продукта, связанный с ним через трубопровод, крана регулировки давления и

Рис. 1. Схема экспериментального актинатора:
1 – корпус; 2 – рабочий цилиндр; 3 – спираль;
4 – ИК нагреватель; 5 – УФ облучательная лампа;
6 – формирователь тонкого слоя молока;
7 – распылитель; 8 – патрубок для подачи молока;
9 – молочный бак; 10, 13 – кран; 11 – насос;
12 – трубопровод; 14 – накопитель;
15 – патрубок для отвода готовой продукции

расхода жидкости, насоса и бака для исходного продукта с краном отличается тем, что УФ-облучательная лампа соосно размещена внутри рабочего цилиндра.

Активатор состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1, внутри которого соосно размещен рабочий цилиндр 2, ИК нагреватель 4, изготовленный из прозрачного кварцевого стекла и намотанный спирально 3 (из нихромового провода), расположенного на его верхней части формирователя тонкого слоя молока в виде полого шара 6, соединенный с рабочим цилиндром в нижней части накопителя готового продукта в виде усеченного конуса 14 и патрубка для отвода готового продукта 15, УФ облучательной лампы 5, распылителя жидкости крестообразной формы 7, помещенный внутри формирователя тонкого слоя молока, соединенного с ним патрубка 8 для подачи начального продукта, связанная с ним через трубопровод 12, крана регулировки давления и расхода жидкости 13, насоса 11 и бака 9 для исходного продукта с краном 10.

Активатор работает следующим образом. С подачей электрического тока на спираль 3 рабочий цилиндр 2 из прозрачного кварцевого стекла, помещенный в вертикальном цилиндрическом корпусе, осуществляет впуск к работе ИК нагревателя 4. Одновременно с подачей тока включается в работу УФ-облучательная лампа 5. Открыв кран 10 бака 9 для исходного продукта (молока) и включив в работу насос 11 через трубопровод 12 и патрубок 8, молоко подается в распылитель 7, находящийся внутри полого шара 6 формирователя потока тонкого слоя молока. При этом необходимая подача молока и давление в системе регулируется краном 13. По мере открытия крана 13 подаваемого насосом 11 часть молока возвращается в бак 9 исходного продукта и тем самым достигается снижение подачи в обработку молока. Обработанное в активаторе ИК и УФ-облучением молоко, протекая по внутренней стенке рабочего цилиндра 2, поступает в накопитель 14 готового продукта и отбирается через патрубок 15.

При изучении пастеризации молока излучением необходимо опираться на накопленный теоретический опыт в области теплообменных физических процессов. Тепловое излучение представляет собой процесс распространения в пространстве внутренней энергии излучающего тела путем электромагнитных волн [4, 5, 7]. Возбудителями этих волн являются материальные частицы, входящие в состав вещества. Для распространения электромагнитных волн не требуется материальной среды, в вакууме они распространяются со скоростью света и характеризуются длиной волны λ или частотой колебаний ν .

Для изучения энергии излучения пользуются классической теорией применительно к новой задаче с учетом конструктивно улучшенного варианта.

Следует отметить, что энергия излучения испускается не непрерывно, а в виде определенных порций-квантов [3, 13, 14, 16]. Носителями этих порций энергии являются элементарные частицы излучения фотоны, обладающие энергией, количеством движений и электромагнитной массой. При попадании на другие тела энергия излучения частично поглощается ими, частично отражается и частично проходит сквозь тело. Фактор поглощения учитывает ту часть излучаемой энергии, которая превращается во внутреннюю энергию поглощающего тела.

Излучаемая в единицу времени энергия в узком интервале изменения длин волн (от λ до $+d\lambda$) есть поток монохроматического излучения Q_λ . Поток, соответствующий всему спектру в пределах от «0» до « ∞ », учитывается интегральным излучением Q (W). Интегральный лучистый поток, излучаемый с единицы поверхности тела по всем направлениям полусферического пространства, определяется плотностью интегрального излучения:

$$E = \frac{dQ}{dF}, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

отсюда

$$Q = \int_{(F)} E dF. \quad (2)$$

Если величина E одинакова для всех элементов поверхности F , то $Q = EF$.

Плотность потока монохроматического излучения называется спектральной интенсивностью излучения и связана с плотностью интегрального излучения следующим уравнением:

$$J_A = \frac{dE}{d\lambda}, \text{ или} \quad (3)$$

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} J_A d\lambda. \quad (4)$$

Общее количество падающей на тело лучистой энергии $E_{\text{пад}}$ описывается уравнением:

$$E_{\text{пад}} = E_{\text{пог}} + E_{\text{от}} + E_{\text{пр}}, \quad (5)$$

где $E_{\text{пог}}$ – поглощающая энергия, Вт/м²; $E_{\text{от}}$ – отражаемая энергия, Вт/м²; $E_{\text{пр}}$ – сквозь проходящая энергия, Вт/м².

Обозначим:

$$\begin{aligned} \frac{E_{\text{пог}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{Q_{\text{пог}}}{Q_{\text{пад}}} = A; \quad \frac{E_{\text{от}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{Q_{\text{от}}}{Q_{\text{пад}}} = R; \\ \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{пад}}} = D, \end{aligned} \quad (6)$$

где A – коэффициент поглощения; R – коэффициент отражения; D – коэффициент пропускания.

Тогда

$$A + R + D = 1. \quad (7)$$

При расчете лучистого теплообмена между телами большое значение имеет результирующее излучение, представляющее собой разность между лучистым потоком, получаемым телом и лучистым потоком, который оно испускает в окружающее пространство. Для определения плотности потока результирующего излучения q_p , полагая коэффициент пропускания тела равным нулю, можно составить уравнения баланса энергии, проходящей через плоскости $A-A$ и $B-B$, одна из которых расположена внутри, а другая снаружи тела вблизи его поверхности (рис. 2).

Для плоскости $A-A$

$$q_p = E - E_{\text{пад}} = E - AE_{\text{пад}}, \quad (8)$$

Для плоскости $B-B$

$$q_p = E_{\text{эф}} - E_{\text{пад}}, \quad (9)$$

где E – энергия собственного излучения тела, определяемого его свойствами и температурой, Вт/м²; $E_{\text{эф}}$ – энергия эффективного излучения тела, Вт/м², $E_{\text{эф}} = E + RE_{\text{пад}}$.

Необходимо отметить, что величина q_p может быть положительной, отрицательной и равной нулю. Зависимость между результирующим и эффективным излучением определится из (9):

$$E_{\text{эф}} = q_p + E_{\text{пад}}, \quad (10)$$

из (8)

$$E_{\text{пад}} = \frac{E - q_p}{A}. \quad (11)$$

Подставив выражение для $E_{\text{пад}}$ в уравнение (10), получаем

$$E_{\text{эф}} = q_p(1 - 1/A) + E/A. \quad (12)$$

Это уравнение широко используется при расчете лучистого теплообмена между телами.

Экспериментальный пастеризатор был испытан в лабораторных условиях при малом диа-

пазоне производительности 100–250 л/ч. В ходе испытания проверялся пастеризационный эффект ИК- и УФ-излучения при температуре 83 °С. Было установлено, что пастеризация сопровождается резким снижением содержания микроорганизмов, не вызывая при этом существенных изменений в количестве белков и витаминов. Пробы молока для анализа отбирались в начале, середине и конце испытания. Продолжительность каждого опыта составляла 0,5 ч. Эффективность пастеризации молока при воздействии излучения равном 3 с и температуре 83 °С составляла 99,25–99,51 %, причем вкусовые качества молока остались без изменения. Срок сохранности отработанного молока при 8 °С составлял одну неделю, а при хранении без охлаждения 24 ч. Расход удельной электроэнергии составлял 12,8 Вт·ч/л.

Результаты исследований. Общие химические свойства исследуемых образцов молока приведены в табл. 1. При анализе данных таблицы можно заметить близость образцов по общим химическим свойствам.

Однако, показатели жирности молока и суммарного сухого вещества по отношению к принятому пищевому кодексу для коровьего молока имеют низкие значения. Это объясняется типом кормления или составом используемых кормов, а также периода лактации коров, молоко которых взято в качестве образцов для исследования.

Результаты по содержанию в образцах суммарных аэробных мезофильных организмов, бактерий колиформ группы и дрожжевой плесени у сырого, пастеризованного обычным способом и пастеризованного на экспериментальной установке молока приведены в табл. 2. Установлено, что при пастеризации молока ИК- и УФ-воздействием наблюдается уменьшение суммарного количества аэробомезофильных организмов соответственно в нижеследующем порядке: 2,66; 1,70; 2,77; 1,83; 2,12 млн/мл. Между показателями обычной пастеризации и ИК-, УФ-пастеризацией ($P < 0,01$) во всех образцах обнаружена значительная статистическая разница. В результате применения экспериментального варианта пастеризации наибольшее логарифмическое уменьшение наблюдается у показателя суммарного количества аэробных мезофильных организмов первого образца. Такое положение свидетельствует об изменчивости лучевого воздействия в зависимости от количества микроорганизмов.

В результате микробиологического анализа установлено, что воздействие на популяцию колиформных бактерий при экспериментальном варианте (ИК-, УФ-обработка) такое, как при обычном варианте пастеризации. Статистический анализ показал, что по отношению к содержанию в образцах колиформных бакте-

Рис. 2. К составлению уравнения баланса энергии

Химические свойства образцов молока

Образец	Жирность, %	Протеин, %	Титруемая кислотность, г/дм ³	Суммарное сухое вещество, %	Зола, %
1	2,65±0,05	2,70±0,01	8,40±0,08	10,87±0,02	0,71±0,01
2	2,55±0,05	2,40±0,01	7,68±0,01	10,43±0,01	0,72±0,01
3	3,55±0,05	3,07±0,05	8,00±0,01	11,58±0,01	0,74±0,01
4	3,35±0,05	2,75±0,20	8,48±0,02	11,37±0,02	0,72±0,01
5	3,45±0,05	2,95±0,45	8,32±0,01	11,53±0,01	0,73±0,01

Таблица 2

Количество суммарных аэробных мезофильных организмов, колиформных бактерий и дрожжевой плесени в образцах молока

Образец	Суммарные аэробные мезофильные организмы, млн/мл			Колиформные бактерии, млн/мл			Дрожжевые плесени, млн/мл		
	Сырое молоко	Пастеризованное молоко	ИК- и УФ-обработанное молоко	Сырое молоко	Пастеризованное молоко	ИК- и УФ-обработанное молоко	Сырое молоко	Пастеризованное молоко	ИК- и УФ-обработанное молоко
1	4,70±0,04	2,01±0,01	2,04±0,01	2,30±0,01	<1	<1	4,68±0,13	<1	3,49±0,17
2	4,97±0,15	2,04±0,01	3,27±0,01	2,69±0,08	<1	<1	4,14±0,01	<1	3,64±0,17
3	6,08±0,01	2,28±0,01	3,31±0,01	3,40±0,19	<1	<1	5,32±0,32	<1	4,84±0,01
4	6,03±0,01	<1	4,20±0,11	4,61±0,11	<1	<1	5,24±0,01	<1	4,70±0,01
5	5,80±0,01	2,16±0,01	3,68±0,14	3,65±0,03	<1	<1	5,96±0,20	<1	4,51±0,01

рий значительных расхождений не наблюдается ($P > 0,01$).

При экспериментальном варианте в образцах молока отмечено уменьшение популяции дрожжевой плесени в следующем порядке: 1,19; 0,50; 0,48; 0,54; 1,45 млн/мл. Установлено, что логарифмическое уменьшение дрожжевой плесени в образцах обычной пастеризации в 3,5 раза больше, чем в образцах ИК- и УФ-обработки. Это показывает, что клетки дрожжевой плесени имеют большую сопротивляемость к ИК- и УФ-лучам.

Следует отметить, что использование экспериментального актинатора не вызывает фотохимических процессов, физико-химические свойства и химический состав молока после пастеризации не изменялись. Количественный состав витаминов группы А и С практически не изменяется. Содержание витамина D₃ в 1 л молока достигает 1600...1800 М.Е., что вполне достаточно по зоотехническим нормам здорового выращивания молодняка. Для УФ-излучения максимальному бактерицидному действию соответствует длина волны 256,3 нм. Для ИК-излучения интервал длины волн составляет 750...3000 нм.

По сравнению с тепловым пастеризатором, обработка молока на экспериментальном актинаторе по расчетным данным обеспечивает снижение затрат труда в 2 раза, приведенных затрат в 3,2, капитальных вложений в 2,5 раза.

Более сильное бактерицидное действие ИК-излучения, по сравнению с традиционной тепловой обработкой, объясняется тем, что при использовании ИК-нагрева, тепло к микроорганизмам подводится не только извне, но и за счет поглощения, генерируется внутри самих микроорганизмов, вызывая поляризацию их структуры. Под воздействием этих двух факторов микроорганизмы погибают гораздо быстрее. Процесс пастеризации проходит в течение 2–3 с при заданной температуре. При этом температуру пастеризации можно снизить, вследствие чего жиры, белки, углеводы и витамины разрушаются в гораздо меньшей степени. Еще одним преимуществом пастеризации молока ИК-нагревом является то, что воздействие на продукт происходит равномерно, так как излучение проникает вглубь одновременно по всему объему. Благодаря мгновенному воздействию излучения с высокой плотностью потока энергии создаются необходимые условия для ликвидации токсичной и балластной микрофлоры, что обеспечивает повышенную, по сравнению с другими методами, сохранность продукта. При этом предохраняются от разрушения полезные биологические структуры, что приводит к увеличению сроков хранения молока.

Заключение. Разработанный экспериментальный актинатор молока с применением одновременного воздействия на тонкий слой молока в потоке ИК- и УФ-излучений позволяет улучшить пастеризационный эффект, его мик-

робиологические показатели и увеличить срок хранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Андрей П.П. Санитарно-гигиенические условия получения молока // Известия Великолукской ГСХА. – 2016. – № 1. – С. 34–39.
2. Бабенко М.С. Разработка способа ИК пастеризации молока и комплексная оценка качества полученного продукта // Вестник ВГУИТ. – 2013. – № 4. – С. 130–134.
3. Балодис М. Производство молока по евростандартам – это реально // Переработка молока. – 2005. – № 10. – С. 26–27.
4. Белкин В.П., Севрюков В.Д. Температурно-лучевая пастеризация молока // Молочная промышленность. – 2008. – № 2. – С. 50–51.
5. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
6. Бредихин С.А. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Колос, 2010. – 408 с.
7. Давидюк В.В. Методика получения рациональных осциллирующих режимов обезвоживания пищевых продуктов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2004. – № 1. – С. 244–251.
8. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А. Модульная установка с использованием ИК- и УФ-облучателей // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 3(20). – С. 38–42.
9. Машины и аппараты пищевых производств: учебник для вузов. в 2 кн. – Кн. 2 / С.Т. Антипов [и др.]; под ред. В.А.Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 680 с.
10. Молочников В.В., Орлова Т.А. Проблемы качества молока – сырья // Переработка молока. – 2008. – № 9. – С. 16–17.
11. Обработка молока УЗ-излучением // Молочная промышленность. – 2000. – № 9. – С. 51–53.
12. Промышленная технология и оборудование для очистки молока от микроорганизмов и обогащения витамином D / Б.С. Гаврюшенко [и др.] // Молочная индустрия: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2009. – С. 88–89.
13. Самарин Г.Н., Шилин В.А., Шилин Е.В. Альтернативные методы первичной обработки молока // Известия Великолукской ГСХА. – 2014. – № 3(7). – С. 42–49.
14. Солдатов А.И., Тригуб М.В., Торгаев С.Н. Ультрафиолетовый обеззараживатель молока поточного типа // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 144–146.
15. Технология пастеризации молока комбинированным воздействием электромагнитных излучений разных длин волн / А.В. Родионова [и др.] // Вестник ЧГПУ им. И.Я.Яковлева. – 2013. – № 2(78). – С. 122–125.
16. Фокин М.Л. Нанотехнологии в пастеризации молока // Молочная промышленность. – 2009. – № 5. – С. 13–14.
17. Шилин Е.В. Повышение качества молока в малых фермерских хозяйствах // Известия Великолукской ГСХА. – 2017. – №3. – С. 46–51.
18. Эффективный способ сохранения качества молока-сырья / А. Буйкова [и др.] // Переработка молока. – 2003. – № 5. – С.12–13.

Байрамов Тархан Хаким оглы, докторант, Научно-исследовательский институт "Агрономеханика". Республика Азербайджан.
Az 2000, Гянджа, Республика Азербайджан.
Тел.: +994502005082.

Ключевые слова: пастеризация молока, тепловое излучение, энергия излучения, актинатор, инфракрасное облучение, ультрафиолетовое облучение, пастеризационный эффект.

STUDY OF PERSPECTIVE METHODS FOR PASTEURIZATION OF MILK FOR FARMING

Bayramov Tarkhan Khakim ogly, Doctoral Candidate, Scientific Research Institute "Agromechanika". Republic of Azerbaijan.

Keywords: milk pasteurization; thermal radiation; radiation energy; actinator; infrared radiation; ultraviolet radiation; pasteurization effect.

The article considers an experimental actinator using simultaneous exposure of a thin layer of milk to the flow of infrared and ultraviolet rays. The actinator consists of a vertical cylindrical body inside which a cylinder is coaxially located, an IR heater made of transparent quartz glass and

wound spirally (of nichrome wire) located on its upper part of the former of a thin layer of milk in the form of a hollow ball connected to the working cylinder in the bottom parts of the drive of the finished product in the form of a truncated cone and a nozzle for removal of the finished product, a UV irradiation lamp, a cruciform liquid dispenser contained inside the forms a thin layer of milk, connected to it by a branch pipe for feeding the initial product, connected with it through a pipeline, a tap for adjusting the pressure and flow of milk, a pump and a tank for the initial product with a tap. The methodological basis for the calculation was used analytical development of heat exchange by radiation.