

ПЕРСПЕКТИВЫ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИК-ПАСТЕРИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

М.С. Бабенко

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
Россия, 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19
E-mail: makxgod@mail.ru

Статья посвящена вопросу пастеризации молока на малых предприятиях. Проведен анализ современного состояния электропастеризаторов, составлена таблица сравнительных характеристик удельных энергозатрат инфракрасных (ИК) и традиционных пастеризаторов. Создана экспериментальная установка с использованием в секции нагрева полых трехшаровых нагревательных колб, на наружную поверхность которых нанесена токопроводящая пленка. По заданным параметрам проведено моделирование течения потока жидкости в системе САПР, Solid Works.

пастеризация, молоко, электропастеризация, ИК-излучение, оптимизация, энергосбережение, моделирование движения жидкости

Один из самых ответственных моментов в переработке молока – выбор оборудования. Необходимо тщательно составлять технологическую схему и смотреть, не противоречит ли ей хотя бы одна из характеристик приобретаемого оборудования. И чем ближе по своим технологическим свойствам к цельному молоку будет продукт после первичной обработки, тем больший спектр молочной продукции можно будет получить из него в дальнейшем.

Для обеспечения длительного хранения продуктов в герметичной потребительской таре следует осуществить пастеризацию или стерилизацию, в результате чего прекращается жизнедеятельность микроорганизмов [1].

К настоящему моменту выпущено большое количество установок ИК-электронагрева различных модификаций и производительностей, большинство из которых успешно эксплуатируется.

При инфракрасном облучении не требуются котлы-парообразователи, топливо, отдельные помещения и исключается опасность взрыва. Внедрение этого способа пастеризации повысит культуру производства и увеличит использование электроэнергии, отпускаемой хозяйствам по сниженным тарифам.

Следует отметить, что после распада СССР молочное животноводство в России, как и во многих других бывших советских республиках, переживало глубокий кризис. С одной стороны, сокращалось поголовье, с другой – падали надои. Условия содержания молочного скота ухудшались из-за недостатка средств на заготовку полноценных кормов, ремонт помещений. Все это привело к увеличению заболевания животных маститом, туберкулезом, лейкозом. В совокупности с увеличением бактериальной обсемененности только что выдоенного молока остро стал вопрос о первичной обработке молока непосредственно на ферме. Однако большинство сельхозпредприятий не могли позволить себе импортные пастеризаторы из-за их высокой стоимости.

Что касается обеззараживания молока, то практически все, что может предложить отечественный производитель, – это установки, поддерживающие «классический» режим: выдержка нагретого до 90 °С молока в течение 5 мин, либо нагретого до 85 °С молока в течение 35 мин и пастеризаторы инфракрасного нагрева, обеспечивающие обеззараживание молока от туберкулеза, лейкоза и бруцеллеза при температуре 79 °С без выдержки, в потоке. Для осуществления режима 90 °С в течение 5 мин обычные пастеризаторы молока оборудуются выдерживателем, в котором нагретый продукт и пребывает необходимое время.

Поток молока в выдерживателе такого объема имеет ламинарный характер, из-за чего на стенках откладывается молочный камень. По этой же причине мойка установки в автоматическом режиме неэффективна.

Пастеризаторы молока, в которых продукт нагревается в ванне, лишены этого недостатка. Однако они также лишены рекуператора, который позволяет экономить до 80% энергии, требуемой на нагрев. Кроме того, после нагрева до 85 °С молоко следует охладить, затратив энергии еще больше, чем на нагрев. Необходимо отметить незаменимость ванн длительной пастеризации в некоторых технологических процессах, например выдержка сыворотки и молока с квасцами при определенной температуре в течение длительного времени при производстве йогуртов, кефира и некоторых видов сыров.

Если молоко греется паром, нужна котельная. Паровые пастеризаторы экономически эффективны при производительностях выше 10 т в час. Пастеризаторы, использующие для нагрева молока водяную рубашку, уступают по экономичности ИК-пастеризаторам, так как используют теплоноситель вместо прямого нагрева продукта. В случае необходимости переоборудования пастеризатора в обеззараживатель встает вопрос о выдерживателе с вышеупомянутыми недостатками.

В настоящее время существуют различные виды конструкций и типов пастеризаторов [2]. Хотелось бы остановиться подробнее на современном состоянии электропастеризаторов с ИК-нагревом и их секций нагрева. Для сравнительной характеристики рассмотрим подобные установки:

Электропастеризаторы с инфракрасным нагревом серии А1-ОПЭ

Блоком пастеризации в установках А1-ОПЭ является секция ИК-нагрева, состоящая из нержавеющей проточной части и инфракрасных нагревателей (рис. 1 а).

ИК-нагреватели выполнены из кварцевых труб и войлочно-графитового шнура, позволяющего изготавливать данные нагреватели с узким спектром ИК-излучения, ориентированным на конкретные задачи.

Продукт подается в кольцевой зазор, образованный проточной частью и ИК-нагревателем. Войлочно-графитовый шнур нагревается за счет электрического тока и становится источником инфракрасного излучения с заданным спектром, а труба, изготовленная из кварцевого стекла, позволяет ему без потерь проникнуть вглубь продукта.

Расход электроэнергии при этом составляет 24 кВт при производительности 1000 л/ч.

Электропастеризаторы с инфракрасным нагревом серии УОМ-ИК

В пастеризационно-охладительной установке УОМ-ИК-1 есть секция ИК-нагрева, представляющая собой трубки кварцевого стекла U-образной формы с отражателями из анодированного алюминия, на которые навита спираль из никрома.

При пропускании электрического тока нихромовая проволока нагревается и создает поток ИК-излучения, которое воздействует на продукт, протекающий в кварцевой U-образной трубке.

Расход электроэнергии составляет 17 кВт*ч при производительности 1000 л/ч.

Приводим таблицу сравнительных характеристик удельных энергозатрат электропастеризаторов (кВт*ч/т).

Таблица. Сравнительная характеристика удельных энергозатрат электропастеризаторов (кВт*ч/т)

Table. Comparative characteristics of specific energy consumption of electropasteurizers (kVt*h/t)

Вид установки	Вид технологической операции обработки молока	Базовая конструкция		Принципиальная возможность	
		Начальная температура молока			
		10°С	30 °С	10 °С	30 °С
Инфракрасный пастеризатор А1-ОПЭ	Без промывки	20	18	17	15
	С промывкой	26	24	19	18
	Среднее значение	23	20	18	16,5
Инфракрасный пастеризатор УОМ	Без промывки	17	16	16	15
	С промывкой	19	17	17	16
	Среднее значение	18	16,5	16,5	15,5

На основании рассмотренных современных образцов электропастеризаторов нами была поставлена цель разработать иной тип нагревательных элементов для увеличения энергоэффективности, а также сохранения высокой степени пастеризации.

Мы предлагаем использовать в качестве источника ИК-излучения полую трехшаровую колбу, изготовленную из кварцевого стекла КС-4В в виде трех соединенных полых шаров (см. рис. 1). На наружную поверхность корпуса нанесена токопроводящая пленка на основе диоксида олова $\text{SnO}_2+\text{Sb}+\text{В}$, в состав которой входят: оксиды олова, свинца, бора. В перемычках между шарами сформированы токоподводы из серебра. Для защиты рабочей пленки нагревателя от воздействия атмосферного кислорода, а также защиты от ИК-излучений, на токопроводящую пленку была нанесена дополнительная на основе трифторида алюминия.

Обрабатываемый продукт последовательно проходит через систему нагревательных элементов за счет пропускания электрического тока, по которым они становятся источником ИК-излучения с заданным спектром (длина волны $\lambda = 3-10$ мкм). Мощность нагревателя нашей экспериментальной установки (рис. 2) составила 8 кВт, при производительности 220 л/ч. Однако в приведенных выше «промышленных» пастеризаторах установлены теплообменные аппараты, что дает существенную экономию теплоты, уменьшая время нагрева до температуры пастеризации.

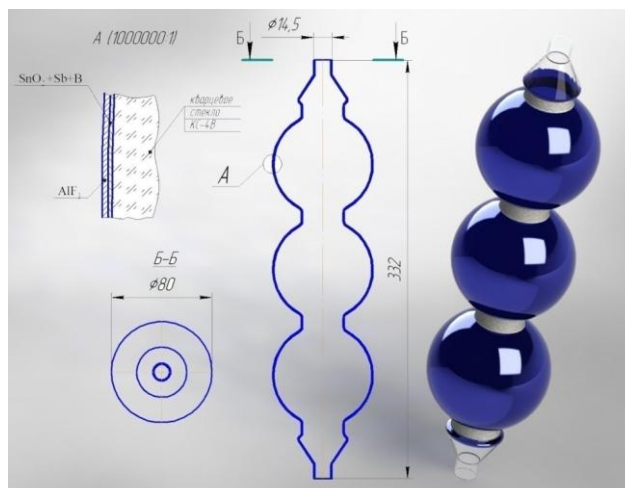


Рис. 1. Нагревательный элемент экспериментальной установки
 Fig. 1. Heating element of the experimental aggregate

Использование чередующихся шаров позволяет, сохранив толщину стенки кварцевого стекла, увеличить давление подаваемого продукта, так как полый шар выдерживает большее внутреннее давление, чем цилиндр с той же толщиной стенки ($1,7 P_{\text{цил}} = P_{\text{сферы}}$). Еще одним плюсом выбранной формы является больший коэффициент теплообмена чем в прямоточном варианте с использованием цилиндрической формы рабочего органа, при одинаковых условиях по длине рабочего органа, что повлекло бы за собой увеличение габаритных размеров.

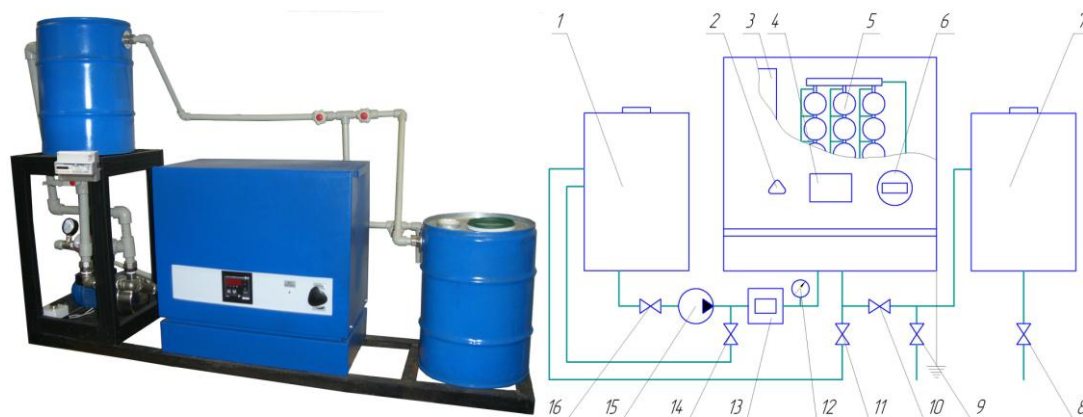


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1 – емкость исходного продукта; 2 – регулятор расхода; 3 – уравнивающий бак; 4 – измерительно-регулирующий прибор; 5 – секция трехшаровых пленочных нагревательных элементов; 6 – электрический счетчик; 7 – емкость готового продукта; 8, 9 – кран отбора проб; 10, 11, 16 – регуляторы внутреннего давления в линии; 12 – манометр; 13 – счетчик расхода жидкости; 14 – байпас; 15 – насос
 Fig. 2. Experimental aggregate: 1 - initial product section; 2 – consumption regulator; 3 – surge tank; 4 – measuring and control device; 5 – three-balls film heating elements section; 6 – electric meter; 7 – finished product section; 8, 9 – sampling taps; 10, 11, 16 – line internal pressure regulators; 12 – manometer; 13 – fluid flow meter; 14 – bypass; 15 – pump

Нагревательные элементы на основе пленок обладают малой инерционностью, высоким КПД, простотой управления, минимальной металлоемкостью, возможностью концентрировать максимум теплового потока в определенной области спектра электромагнитных колебаний.

Использование тонкой пленки в качестве ИК-излучателей позволяет равномерно распределять ИК-поток вдоль всего объема продукта внутри колб.

За счет переменного сечения нагревательного элемента (чередование полых шаров и перемычек) обеспечивается турбулентный поток жидкости ($V1 < V2$), происходит перемешивание молока (рис. 3, 4), что позволяет говорить о полном воздействии потока ИК-излучения на продукт. Для еще большего перемешивающего эффекта на входе в секцию ИК-нагрева установлен завихритель потока обрабатываемой жидкости.

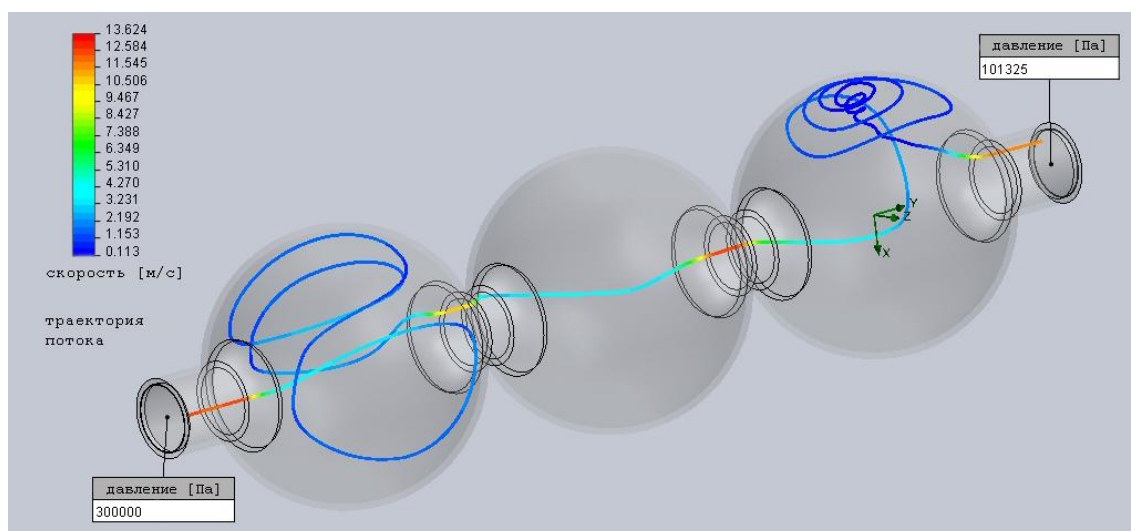


Рис. 3. Моделирование течения потока жидкости в системе САПР, Solid Works
Fig. 3. Modeling of fluid flow in the system CAD, Solid Works

При помощи системы автоматизированного проектирования SolidWorks и ее модуля Flow Simulation была создана модель течения молока в колбах, которая показала наличие завихрений в шарах колбы и перемешивание продукта.

Эта программа является одной из мощнейших систем проектирования и анализа, содержит полноценные интегрированные инструменты решения для решения широкого спектра задач, в том числе гидрогазодинамики и теплопередачи. При задании условий и анализа полученных результатов обеспечивается учет совместного действия многих факторов: характера движения среды, теплопроводности, солнечного излучения, теплообмена излучением, наличия вращающихся объектов и т. д.

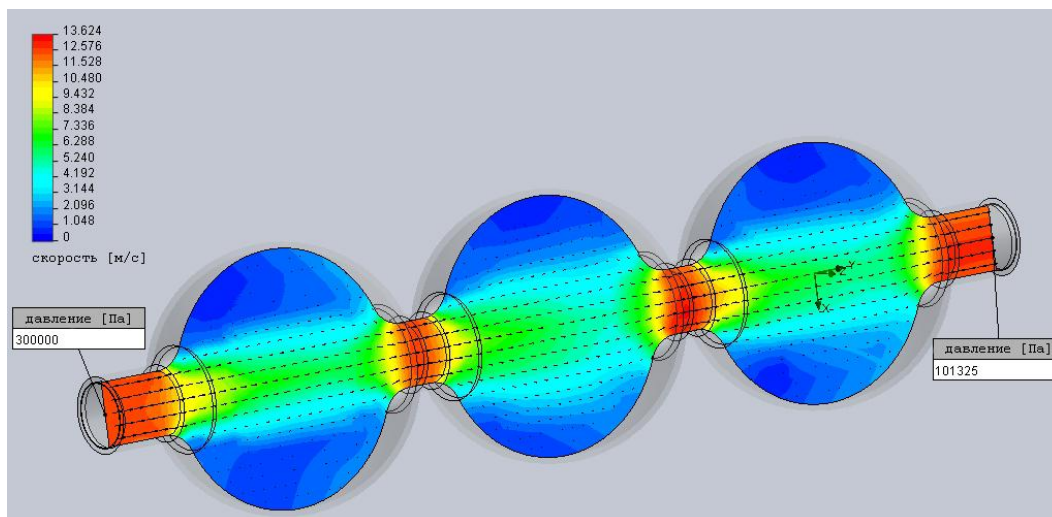


Рис. 4. Моделирование течения потока жидкости в системе САПР, Solid Works
 Fig. 4. Modeling of fluid flow in the system CAD, Solid Works

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 счёт поглощения, генерируется внутри самих микроорганизмов, вызывая, кроме того, поляризацию их структуры. Под воздействием двух факторов (развитие "внутреннего тепла" и поляризации) микроорганизмы погибают гораздо быстрее. Процесс пастеризации в секции ИК-нагрева проходит в течение 2-3 с при заданной температуре. Температуру пастеризации можно снизить, в результате жиры, белки, углеводы и витамины будут разрушаться в гораздо меньшей степени. Ещё одним преимуществом ИК-нагрева является то, что воздействие на продукт происходит равномерно, так как излучение проникает вглубь одновременно по всему объёму. 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 [3].

Наиболее ценной составляющей частью молока являются белки. Но с увеличением интенсивности теплового воздействия в диапазоне температур 80-92 °С содержание общего и неказеинового белка существенно снижается после пастеризации традиционными тепловыми методами. Содержание белков в молоке после ИК-обработки практически не меняется. Следовательно, пищевая ценность такого молока выше, чем пастеризованного традиционными способами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был проведен анализ энергоэффективности электропастеризаторов. Предложен иной тип нагревательных элементов, который был воплощен на базе экспериментальной установки. Произведено моделирование течения потока жидкости в трехшаровых нагревательных элементах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Антипов, С. Т. Машины и аппараты пищевых производств: учеб. для вузов : в 2 кн. – Кн. 2 / С. Т. Антипов [и др.]; под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 680 с.
2. Гинзбург, А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая пром-сть, 1973. – 235 с.
3. Фокин, М.Л. Нанотехнологии в пастеризации молока / М.Л. Фокин // Молочная пром-сть. – 2009. – № 5. – С. 13-14.

PERSPECTIVE AND ASSESSMENT OF POSSIBILITIES OF IR PASTEURIZATION IN THE CONDITIONS OF SMALL ENTERPRISES. NEW TECHNICAL SOLUTIONS

M.S. Babenko

The article is devoted to the pasteurization of milk in small enterprises. The analysis of the current state of elektropasteurizers was carried out, a table of comparative characteristics of specific energy consumption of IR and traditional pasteurizers was made. An experimental aggregate with the use of hollow three-balls heating bulbs whose outer surface was covered by conductive film in the heating section was developed. Modeling of fluid flow in the system CAD, Solid Works with the given parameters was carried out.

pasteurization, milk, elektropasterization, infrared radiation, optimization, energy saving, fluid flow modeling