

Е. А. ДЕНИСЮК, И. А. НОСОВА

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО РАССОЛА

Ключевые слова: рассол, пастеризация, кавитационный теплогенератор, планирование эксперимента, регенерация.

Аннотация. Приведены результаты исследований по определению области оптимальных геометрических размеров кавитационного теплогенератора с целью пастеризации рассола после посолки сыра.

Организация первичной обработки и переработки сырья у его производителя – это один из эффективных путей развития производственных сельскохозяйственных предприятий.

Производство сыров непосредственно у сельскохозяйственных товаропроизводителей отличается сложностью и особенностью проведения технологического процесса.

Оборудование, серийно выпускаемое промышленностью, предназначено в основном при использовании именно в условиях специализированных молокоперерабатывающих предприятий. Оно имеет большую производительность, габариты и энергоемкость, что затрудняет переработку сырья именно у сельскохозяйственных товаропроизводителей, для которых важным является эксплуатация конструкций машин и оборудования с малой энергоемкостью, реализующих ресурсосберегающие технологии.

Определенную долю сточных вод сельскохозяйственных предприятий, занимающихся переработкой молока, в частности, производством сычужных рассольных и мягких сыров, образуют стоки, основу которых составляют отработанные рассолы после посолки сыра. Наличие поваренной соли делает стоки, содержащие рассолы, агрессивными по отношению к металлическому оборудованию, арматуре и окружающей среде.

Из изложенного следует целесообразность и необходимость многократного использования отработанного рассола с целью снижения его объема и экономии поваренной соли и питьевой воды.

Однако при посолке сыра происходит развитие различных форм микроорганизмов, которые делают невозможным непосредственное многократное использование рассола. В связи с этим при регенерации отработанного рассола требуется инактивация микрофлоры методом пастеризации. Процесс пастеризации занимает особое место в технологических процессах, как при первичной обработке сырья, так и в производстве молочных продуктов. Однако применение существующих пастеризационных установок сопровождается большими энергетическими и эксплуатационными затратами, что значительно затрудняет в условиях сельскохозяйственных предприятий регенерацию отработанного рассола после посолки сыра.

С целью снижения энергоемкости теплообменных процессов возникает необходимость применения аппаратов прямого воздействия на продукт, имеющих такие преимущества как простота в обслуживании и небольшие габариты. К таким аппаратам относятся кавитационные теплогенераторы, рабочим телом которых является жидкость, а превращение механической энергии в тепловую происходит в основном за счет вихревого течения жидкости в режиме кавитации.

В связи с изложенным выше нами разработана установка регенерации отработанного сырного рассола и представляется перспективным использовать в установке кавитационный теплогенератор для решения поставленной задачи регенерации отработанного рассола методом пастеризации [2].

Применение данной установки позволяет снизить энергоемкость тепловой обработки, расход соли и воды при посолке сыра и объем соленых сточных вод за счет регенерации отработанного рассола при многократном его использовании.

Для подтверждения теоретических исследований по определению параметров и режимов работы кавитационного теплогенератора были проведены экспериментальные исследования.

При исследовании технологического процесса регенерации отработанного рассола было выявлено, что большое значение имеет температурный режим при его пастеризации. Эффективность работы теплогенератора определяется количеством теплоты, выделенной в единицу времени.

Для уточнения геометрических размеров теплогенератора проведены исследования с целью получения оптимального температурного режима при рациональных конструкционных параметрах теплогенератора.

Необходимо отметить, что результаты однофакторного эксперимента позволили выбрать оптимальный диапазон геометрических параметров кавитационного теплогенератора: ширина сопла b находится в пределах от 0,045 м до 0,075 м; диаметр диафрагмы d_0 – от 0,025 м до 0,045 м; длина цилиндрической вихревой трубы L – от 0,5 м до 1,0 м. Полученные результаты однофакторного эксперимента позволили провести исследования взаимного влияния основных факторов, обеспечивающих рабочий процесс кавитационного теплогенератора, при проведении многофакторного эксперимента.

Исходя из поставленных задач исследований, был проведен ряд параметрических испытаний кавитационного теплогенератора для исследования взаимного влияния ширины входного сопла b (фактор x_1), диаметра диафрагмы d_0 (фактор x_2), длины цилиндрической вихревой трубы L (фактор x_3) и диаметра цилиндрической вихревой трубы d (фактор x_4) теплогенератора. По результатам лабораторных испытаний значения факторов были приняты следующие: ширина входного сопла от 0,045 м до 0,075 м с шагом 0,015 м, диаметр диафрагмы от 0,025 м до 0,045 м с шагом 0,01 м, длина цилиндрической вихревой трубы от 0,5 м до 1,0 м с шагом 0,25 м, диаметр трубы от 0,07 м до 0,11 м с шагом 0,02 м [1].

С целью оптимизации параметров кавитационного теплогенератора был проведен полный факторный эксперимент 2^3 с применением матрицы ротатабельного центрального композиционного плана с добавленными опытами в центре. В качестве критериев оптимизации были выбраны разность температур на входе и выходе теплогенератора Δt , °С (y_1) и тепловыделение, $Q_{\text{эвюдк}}$, МДж/ч (y_2) [3].

Значимыми в математической модели для температурного нагрева являются коэффициенты при параметрах x_1, x_2, x_3 , а так же коэффициенты их взаимосвязей $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_1x_2x_3$ [1, 2, 3].

Однородность дисперсии отклика и воспроизводимость опытов проверяли с помощью критерия Кохрена. Адекватность полученных уравнений регрессии и проверялась с помощью F -критерия Фишера. В результате расчетов для данных уравнений сделан вывод, что модель адекватна [1].

В результате расчетов были получены модели регрессии в закодированном виде и в натуральном раскодированном виде:

$$\Delta t = -2,622 - 0,1788b + 0,2338d_o + 0,013L + 0,00194b^2 - 0,0024d_o^2 - 0,000004L^2 + 0,000333bd_o - 0,000067bL - 0,000075d_oL$$

$$Q_{жидк} = 71,606 - 2523,551b + 621,684d_o + 92,103L + 20794,049b^2 - 10240,255d_o^2 - 32,147L^2 + 6794,336bd_o - 453,958bL - 307,681d_oL$$

Графический анализ математических моделей по двумерным сечениям позволил получить область оптимальных значений геометрических размеров теплогенератора.

При этом необходимо отметить, что по сравнению с первоначальными сериями опытов область оптимальных параметров значительно уменьшилась, так ширина сопла стала в пределах от 0,06 м до 0,07 м, диаметр диафрагмы от 0,035 м до 0,04 м, длина цилиндрической вихревой трубы от 0,7 м до 0,85 м [1].

Значительное влияние на изменение температуры рассола Δt оказывает изменение ширины сопла: при увеличении ширины сопла до 0,07 м температура рассола увеличивается на 3 °С. При изменении диаметра диафрагмы в заданном диапазоне температура рассола возрастает до 3 °С. Увеличивая длину цилиндрической вихревой трубы до 0,85 м можно добиться повышения температуры рассола на 2 °С [1].

На величину тепловыделения в кавитационном теплогенераторе существенное влияние также оказывает ширина сопла (рисунок 1).

При увеличении ширины сопла до 0,075 м тепловыделение возрастает до 50 МДж/ч, при изменении длины цилиндрической вихревой трубы от 0,6 м до 0,8 м тепловыделение имеет значение 40 МДж/ч. При этом необходимо отметить, что максимальное влияние оказывает длина цилиндрической вихревой трубы. Оптимальное изменение диаметра диафрагмы находится в пределах от 0,03 м до 0,04 м.

Таким образом были определены оптимальные конструкционные параметры кавитационного теплогенератора: ширина входного сопла $b=0,063$ м, диаметр диафрагмы $d_o=0,04$ м, длина цилиндрической вихревой трубы $L=0,8$ м, обеспечивающие оптимальный перепад температур на входе и выходе теплогенератора $\Delta t=2,3$ °С за один проход жидкости, а при многократной ее циркуляции по замкнутому контуру необходимую температуру пастеризации 85 ± 5 °С, и теплопроизводительность $Q_{жидк}=42,1$ МДж/ч.

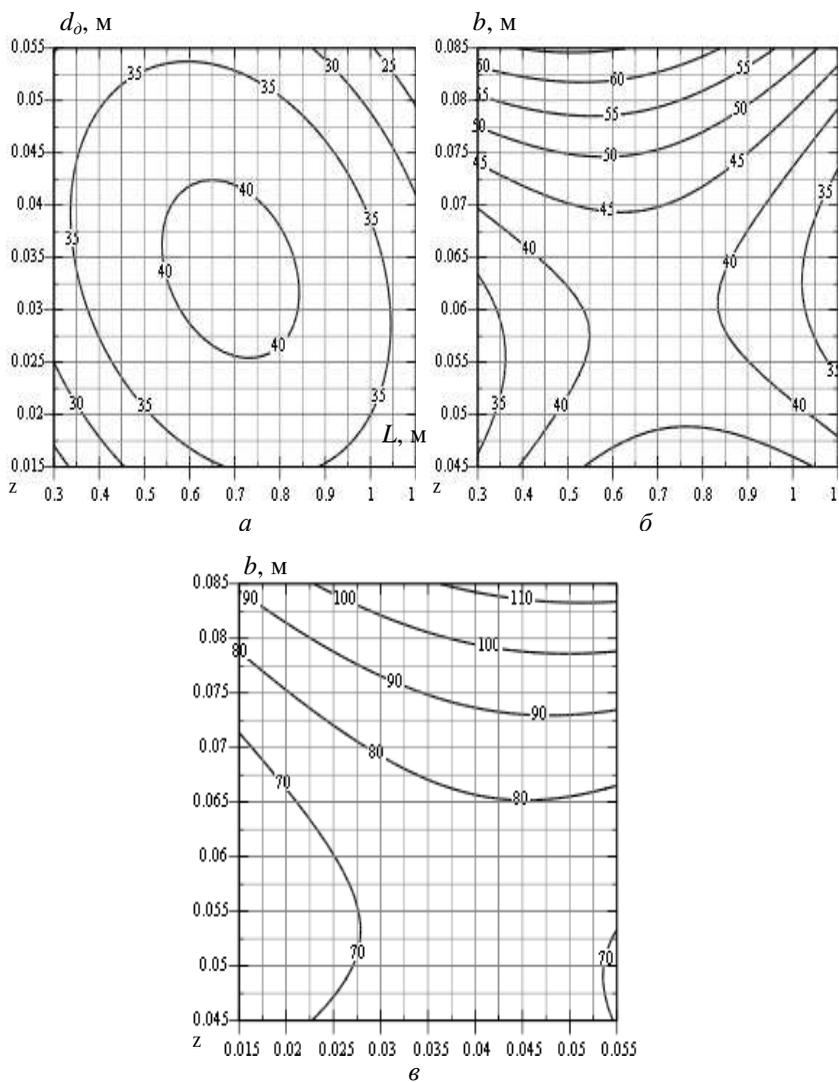


Рисунок 1 – Влияние на тепловыделение $Q_{жидк}$ в кавитационном теплогенераторе при фиксированном значении одного фактора: а – ширины сопла (x_1); б – диаметра диафрагмы (x_2); в – длины цилиндрической вихревой трубы (x_3)

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисюк Е. А. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров кавитационного теплогенератора при регенерации рассола после посолки сыра / Е. А. Денисюк, И. А. Носова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2011. №6 (25). С.63 – 68.
2. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. Л.: Колос. Ленинград, 1980. 168 с.
3. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие / Н. И. Сидняев. М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2011. 399 с.
4. Устройство приготовления и регенерации рассола для посолки сыра: патент на полезную модель № 107022 Рос. Федерация: МПК А01J 25/00 / Носова И. А., Денисюк Е. А., Кистанов Е. И.; патентообладатель ФГОУ ВПО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия» № 2011112889/10, заявл. 04.04.2011; опубл. 10.08.2011 Бюл. №22.

POWER CONSUMPTION OPTIMIZATION AT REGENERATION OF THE FULFILLED BRINE

Keywords: brine, pasteurization, the cavitation heat generator, experiment planning, regeneration.

The summary. Results of researches by definition of area of the optimum geometrical sizes cavitation heat generator for the purpose of pasteurization of a brine after salting cheese are resulted.

ДЕНИСЮК ЕЛЕНА АЛЕКСЕЕВНА – заведующая кафедрой механизации переработки продукции животноводства, профессор, кандидат технических наук, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, инженерный факультет, (denelalex@rambler.ru).

НОСОВА ПРИНА АНАТОЛЬЕВНА – доцент кафедры механизации переработки продукции животноводства, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, инженерный факультет, (nosovair@rambler.ru).

DENISYK ELENA ALEKSEEVNA – the chair of mechanization of animal product processing, professor, Cand.Tech.Sci., the honourable teacher of the higher vocational education of the Russian Federation, The Nizhniy Novgorod state agricultural academy, engineering faculty, (denelalex@rambler.ru).

NOSOVA IRIINA ANATOLEVNA – dozent of the chair of mechanization of animal product processing, The Nizhniy Novgorod state agricultural academy, engineering faculty, (nosovair@rambler.ru).
