

номічних технологій помітно розширює можливості не тільки кухарів і кондитерів у розмаїтті свого меню і підвищенні кулінарної майстерності, а й можливості засновників в управлінні бізнесом.

Сучасне проектування підприємств харчування має бути орієнтоване на нові технології виробництва кулінарної продукції, однією зі складових якої є обладнання, що забезпечує ефективність діяльності. Тому при створенні нових підприємств та реконструкції вже діючих, необхідно враховувати процес удосконалення наявних моделей обладнання, розширення їхніх функціональних можливостей для створення високоєфективних технологій на підприємствах ресторанного господарства.

### Література

1. Катсигрис Костас, Томас Крис. Учебник ресторатора: проектирование, оборудование, дизайн / Костас Катсигрис, Крис Томас; Пер. с англ. Прокофьев С.В. – М.: ООО «Издательский дом «Ресторанные ведомости», 2008. – 576 с.
2. Крылов Е. Пароконвектомат. Технология эффективной работы. – М.: Изд-во «Ресторанные ведомости», 2004. – 128 с.
3. Марциано Палли. Справочник совершенного хозяина ресторана. 100 идей для достижения превосходства в конкурентной борьбе – М.: Изд-во Современные ресторанные и розничные технологии, 1999. – 152 с.
4. Технологічне проектування підприємств харчування : Навч. посібник / О.І. Черевко, Л.М. Крайнюк, Л.О. Касілова, [та ін.]. – Х.: ХДУХТ, 2005. – 295 с.

УДК 681.5

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО АЛГОРИТМА

Колязов К.А., канд. техн. наук

Филиал ФГБОУ ВПО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского», г.Мелеуз, Республика Башкортостан

*В статье рассмотрена энергосберегающая система управления процессом выпаривания молочных продуктов на основе нечеткого алгоритма. Предложенная система управления позволит сократить затраты энергии на 10 – 15 %.*

*In the article energysaving control system by the process of evaporation of dairy products is considered on the basis of fuzzy algorithm. Offered control system will allow to shorten the expenses of energy on 10 – 15 %.*

Ключевые слова: нечеткая логика, молочные продукты, система управления, энергосбережение.

К настоящему времени не проводилось достоверных исследований изменения температуры кипения при выпаривании молочных продуктов, позволяющих создать эффективную энергосберегающую систему управления.

Для учета всех факторов, влияющих на расход энергии в процессе выпаривания молочных продуктов, разработаем нечеткий алгоритм и на его основе систему продукционных правил, которая в режиме реального времени позволит определять снижение энергозатрат в процессе выпаривания молочных продуктов. Эту задачу целесообразно разделить на 2 подзадачи: подзадачу синтеза модели объекта управления и подзадачу синтеза нечеткого регулятора.

В процессе производства молочных продуктов наряду со снижением энергозатрат, необходим автоматический контроль за качеством готовой продукции. Основным параметром качества при выпаривании является влажность  $\lambda$ . Для связи расхода энергии с влажностью введен коэффициент эффективности энергозатрат  $K_{эм}$ :

$$K_{эм} = \frac{F_{нап}}{(\lambda_1 - \lambda)}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – влажность готового продукта,  $\lambda_1$  – влажность сырья,  $F_{нап}$  – расход пара.

Влажность готового продукта определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\rho_c [1 + \beta_c (T_0 - T)] F_{сырья}}{\rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод}} \lambda_1, \quad (2)$$

где  $\rho_c$  и  $\rho_n$  – соответственно плотность сырья и готовой продукции при температуре  $T_0$ ;  $\beta_c$  и  $\beta_n$  – температурный коэффициент объемного расширения сырья и готовой продукции.

Выражение (1) с учетом (2) принимает вид:

$$K_{эм} = \frac{F_{пар} \rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод}}{\lambda_1 (\rho_n [1 + \beta_n (T_0 - T)] F_{прод} + \rho_c [1 + \beta_c (T_0 - T)] F_{сырья})} \quad (3)$$

Коэффициент эффективности энергозатрат представляет собой количество энергии, затраченной на выпаривание единицы влажности. Чем ниже  $K_{эм}$ , тем выше эффективность использования энергии. Соответственно для снижения затрат энергии необходимо стремиться к уменьшению данного коэффициента.

Были проведены экспериментальные исследования, на основании которых получена трехмерная поверхность, характеризующая зависимость влажности готового продукта от температуры выпаривания и от расхода греющего пара. Рассмотрение этих трех параметров полностью характеризуют процесс выпаривания, так как все остальные параметры процесса оказывают влияние на форму поверхности, а, значит, их влияние не окажется не учтенным.

На основании этих исследований установлена зависимость коэффициента эффективности энергозатрат  $K_{эм}$  от расхода пара при различных значениях температуры выпаривания. На рис. 1 представлена зависимость  $K_{эм}$  от расхода пара при оптимальной температуре выпаривания (50 °С).

Из него следует, что существует режим работы вакуум-выпарного аппарата, при котором коэффициент эффективности энергозатрат, а, значит, и расход энергии имеют минимальное значение. Для управления вакуум-выпарным аппаратом с минимальным значением  $K_{эм}$  предложено ввести три лингвистические переменные: «Температура», «Расход пара» и «Влажность». С этой целью кривая на рисунке 2 разбита на 9 зон, границы которых определяются точками перегиба зависимости температуры  $T$  от расхода пара в калоризаторе.

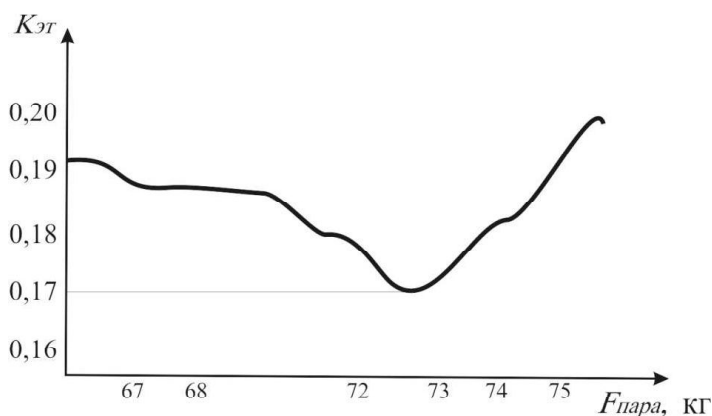


Рис. 1 – Зависимость  $K_{эм}$  от расхода пара при  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

Из него следует, что существует режим работы вакуум-выпарного аппарата, при котором коэффициент эффективности энергозатрат, а, значит, и расход энергии имеют минимальное значение. Для управления вакуум-выпарным аппаратом с минимальным значением  $K_{эм}$  предложено ввести три лингвистические переменные: «Температура», «Расход пара» и «Влажность». С этой целью кривая на рисунке 2 разбита на 9 зон, границы которых определяются точками перегиба зависимости температуры  $T$  от расхода пара в калоризаторе.

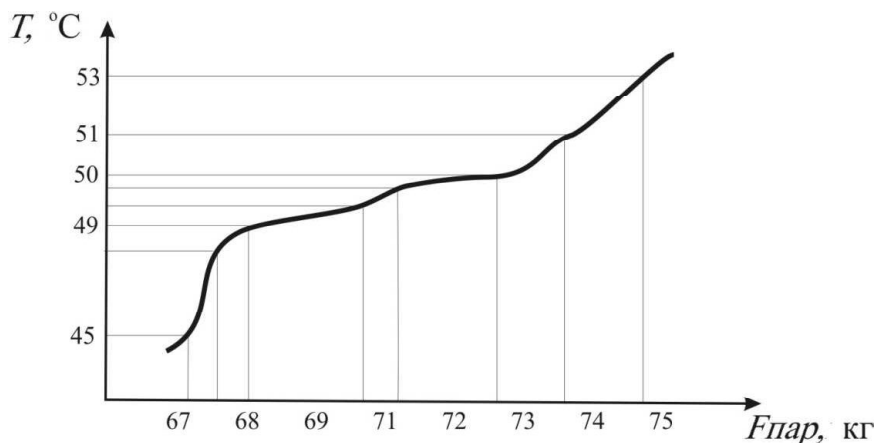
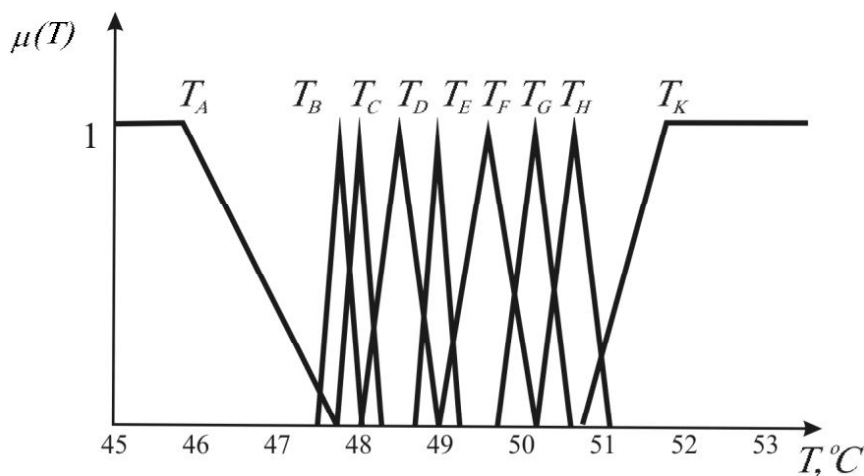


Рис. 2 – Зависимость «Температура-расход пара» в калоризаторе при  $K_{эм}=0,17$

Предложен метод автоматической модификации продукционных правил, основанный на алгоритме выделения зон в режиме реального времени по графику на рисунке 2 и последующем изменении в соответствии с количеством выделенных зон функций принадлежности термов лингвистических переменных. С этой целью в процессе работы выпарной установки управляющая программа выделяет точки перегиба функции изменения температуры в зависимости от изменения расхода пара, которые в дальнейшем становятся границами новых зон. Затем каждой зоне ставятся в соответствие термы лингвистических переменных «Температура», «Расход пара» и «Влажность». Строятся функции принадлежности упомянутых лингвистических переменных. Так как зависимость «Температура–расход пара» носит нелинейный характер, то область значений каждой переменной разбивается на следующие неравные интервалы:

$$\mu(t) = \begin{cases} 1 - |t - 46|/2 & \text{для } t \in [45; 47,7] ; \\ 1 - |t - 47,75|/0,25 & \text{для } t \in [47,5; 48] ; \\ 1 - |t - 48|/0,25 & \text{для } t \in [47,75; 48,25] ; \\ 1 - |t - 48,5|/0,5 & \text{для } t \in [48; 49] ; \\ 1 - |t - 49|/0,25 & \text{для } t \in [48,75; 49,25] ; \\ 1 - |t - 49,5|/0,5 & \text{для } t \in [49; 50] ; \\ 1 - |t - 50|/0,4 & \text{для } t \in [49,6; 50,4] ; \\ 1 - |t - 50,5|/0,5 & \text{для } t \in [50; 51] ; \\ 1 - |t - 52|/2 & \text{для } t \in [50,5; 52,5] . \end{cases}$$

Кривая на рисунке 2 разбита на зоны, в пределах которых она имеет постоянный угол наклона к оси «Расход пара». Центр каждой зоны по оси температур на рисунке 3 является центром термов функции принадлежности лингвистической переменной «Температура». Аналогичным образом строятся функции принадлежности термов для лингвистических переменных «Расход пара» и «Влажность».



**Рис. 3 – Функции принадлежности термов лингвистической переменной «Температура»**

Управление вакуум-выпарным аппаратом осуществляется с помощью двух систем продукционных правил: определение расхода пара в зависимости от температуры и коэффициента эффективности энергозатрат и определение расхода пара в зависимости от влажности.

Обе системы продукционных правил составлены таким образом, что в каждый момент времени срабатывает только одно правило в каждой из систем.

**Выводы**

В ходе реализации системы управления на основе нечеткого алгоритма, организованной по данному принципу, и проведения экспериментальных исследований установлено, что экономия энергии может достигать 10 – 15 %.