

просвет бумаги (индекс формования). В результате был получен индекс формования, который, по мнению нейронной сети, получится для данной входной последовательности. Для рассматриваемого примера точность сети получилась высокой, относительная погрешность составила всего 2,8 %.

Полученную в ходе исследований нейронную сеть могут использовать работники целлюлозно-бумажных производств для прогнозирования качества просвета бумаги при изменении входных факторов, ока-

Хмельницкий Артур Константинович — канд. техн. наук, доцент кафедры "Автоматизация химико-технологических процессов" Санкт-Петербургского государственного университета растительных полимеров.

Контактный телефон (812) 598-03-48. E-mail: xmelnak@mail.ru

СИНТЕЗ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

К.А. Колязов, А.В. Воробьева, Н.И. Шиянова (МГУ ТУ)

Рассмотрена задача синтеза имитационной модели ТП выпаривания молока и молочных продуктов с помощью аппарата нечеткой логики. Предложенный метод позволяет с помощью несложного математического аппарата получать достаточно достоверные модели сложных процессов.

Эффективность работы современного производства пищевых продуктов во многом определяется достигнутым уровнем его автоматизации. Высокие требования на мировом рынке к качеству выпускаемой продукции, тенденция к созданию технологического оборудования с высокими скоростями движения, безопасность труда и другие социально-экономические требования современного общества обуславливают необходимость перехода к безлюдным технологиям, гибкому и автоматизированному производству. Ряд объектов управления пищевой промышленности до сих пор не имеют точных математических моделей, что не позволяет для их качественного управления использовать наиболее рентабельные и широко распространенные системы регулирования, основанные на применении ПИ и ПИД-регуляторов. Как часть этой проблемы в настоящей работе рассматривается задача синтеза имитационной модели технологического процесса выпаривания молока и молочных продуктов с помощью аппарата нечеткой логики.

В качестве объекта управления выступает процесс выпаривания сгущенного молока. Математическая модель этого процесса на основе теплового баланса допускает ряд упрощений [1], что может повлиять на качество регулирования процессом. Для создания более достоверной модели объекта, необходимо учесть изменение температуры кипения, возникающее в выпарном аппарате с вертикальными трубками из-за дополнительного давления парожидкостной смеси. К настоящему времени достоверных исследований изменения температуры кипения при выпаривании сгущенного молока, позволивших создать строгую математическую модель, не проводилось. В связи с этим была разработана имитационная модель, основанная на экспериментально полученных данных. Целью создания модели является получение на выходе достаточно достоверного значения температуры по заданному расходу.

зывающих влияние на однородность бумажного полотна. Это позволит снизить уровень брака и производить бумагу, пригодную для высокохудожественной печатной продукции.

Список литературы

1. Дьяконов В.П., Круглов В.В. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. М.: Солон-Пресс. 2006.
2. Фляте Д.М. Свойства бумаги. М.: Лесная промышленность. 1986.

Для сгущения цельного, обезжиренного молока и молочных продуктов применяют двухкорпусную вакуум-выпарную установку непрерывного действия (рис. 1-2).

Основные части установки — два калоризатора (греющие камеры) 1 и два пароотделителя (сепаратора) 2 первой и второй ступеней.

Установка работает с использованием вторичного пара в обеих ступенях, поэтому в первом корпусе имеется термокомпрессор 3.

Калоризатор вертикальный трубчатого типа. Верхность нагрева образуют кипяtilьные трубки, завальцованные в трубные решетки. Вверху и внизу имеются перегородки, делящие жидкостные пространства на две части. В каждой из них имеется по одной циркуляционной трубе большего диаметра. Поэтому молоко при выпаривании последовательно

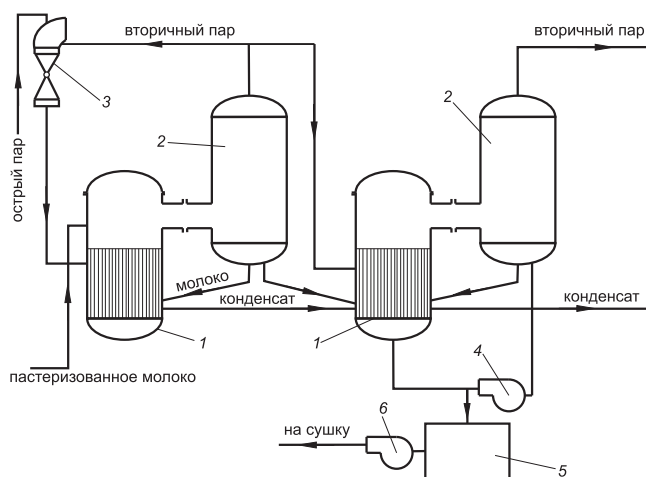


Рис. 1 Схема двухкорпусной вакуум-выпарной установки циркуляционного типа непрерывного действия
1 – калоризатор; 2 – пароотделитель; 3 – термокомпрессор; 4 – продуктовый циркуляционный насос; 5 – промежуточный бак с мешалкой; 6 – насос для подачи сгущенного молока на сушку

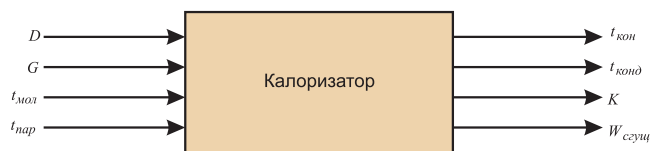


Рис. 2. Объект управления – калоризатор

D – расход пара, G – количество молока, $t_{\text{мол}}$ – температура молока, $t_{\text{пар}}$ – температура греющего пара, $t_{\text{кон}}$ – температура концентрата молока, $t_{\text{конд}}$ – температура конденсата, K – количество вторичного пара, $W_{\text{сущ}}$ – содержание сухих веществ в сгущенном молоке

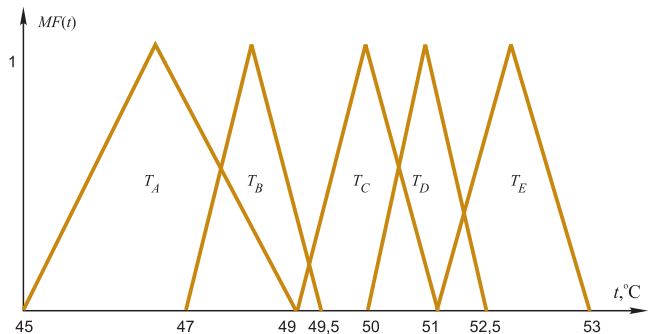


Рис. 4. Функция принадлежности лингвистической переменной "Температура"

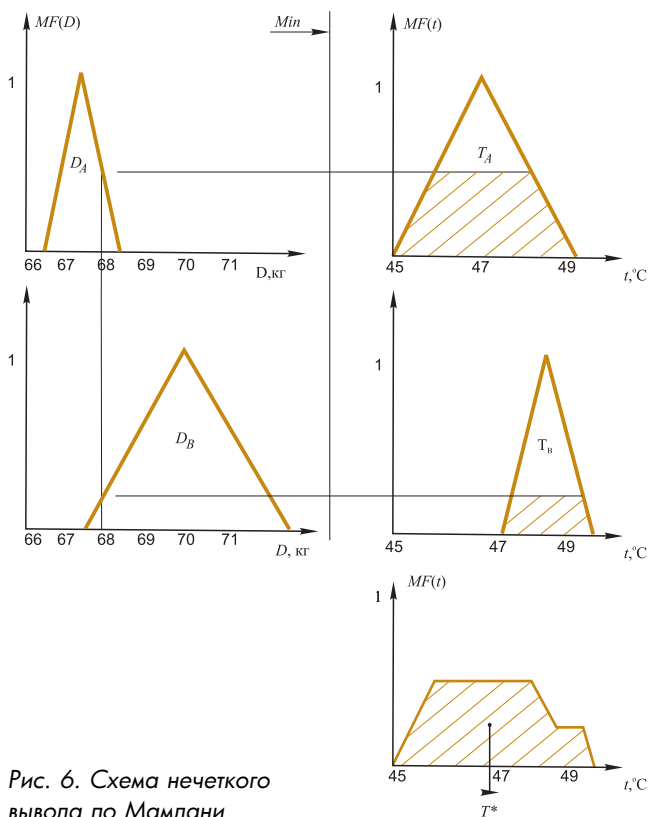


Рис. 6. Схема нечеткого вывода по Мамдани

проходит обе части калоризатора, конструкция которого в этом случае является двухходовой.

Экспериментально снимали следующие показатели процесса: температура в выпарном аппарате и расход пара. По полученным данным построен график (рис. 3).

Кривая в пространстве, образованная точками M_i , является достаточно сложной для формульного представления. Она имеет сложную форму, кроме того, в каждой точке поверхности существует разброс значений параметра

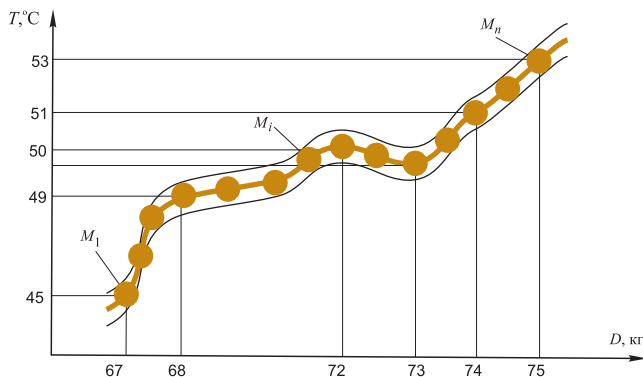


Рис. 3. Зависимость "температура-расход пара"

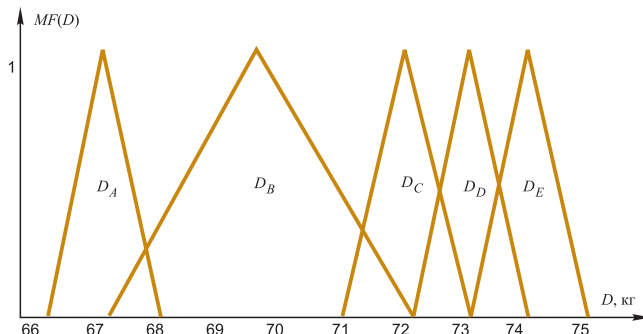


Рис. 5. Функция принадлежности лингвистической переменной "Расход"

тров. Закон распределения этих значений не выявлен и использование методов из теории вероятности затруднено. Применение математических методов аппроксимации приводит к получению точного значения температуры при известном значении расхода пара, что на реальном объекте управления не наблюдается. Температура может изменяться в окрестности точки при одних и тех же значениях расхода пара. В связи с этим был использован метод из теории нечетких множеств.

Для описания нечетких множеств вводятся понятия нечеткой и лингвистической переменных.

Нечеткая переменная описывается набором (N, X, A) , где N – это название переменной, X – универсальное множество (область рассуждений), A – нечеткое множество на X .

Значениями лингвистической переменной могут быть нечеткие переменные, т.е. лингвистическая переменная находится на более высоком уровне, чем нечеткая переменная. Каждая лингвистическая переменная состоит из:

- названия;
- множества своих значений, которое также называется базовым терм-множеством T . Элементы базового терм-множества представляют собой названия нечетких переменных;
- универсального множества X ;
- синтаксического правила G , по которому генерируются новые термы с применением слов естественного или формального языка;
- семантического правила P , которое каждому значению лингвистической переменной ставит в соответствие нечеткое подмножество множества X .

Рассмотрим такое нечеткое понятие, как "Температура". Это и есть название лингвистической переменной. Сформируем для нее базовое терм-множество, которое будет состоять из пяти нечетких переменных: "Очень низкая", "Низкая", "Нормальная", "Высокая" и "Очень высокая". Также формируем базовое терм-множество для нечеткого понятия "Расход пара". Построим функции принадлежности для каждого лингвистического термина из базового терм-множества (рис. 4-5).

Так как зависимость "температура-расход пара" нелинейная, область значений каждой переменной разбивается на неравные интервалы, в пределах которых кривая имеет одинаковый угол наклона. Центр каждого интервала по оси температур будет являться центром термов функции принадлежности температуры. Центр каждого интервала по оси расхода будет являться центром термов функции принадлежности расхода.

Функция принадлежности для лингвистической переменной "Температура":

$$\mu(t) = \begin{cases} 1 - |t - 47|/2 & \text{для } t \in [45; 49] \\ 1 - |t - 48,25|/1,75 & \text{для } t \in [47; 49,5] \\ 1 - |t - 50| & \text{для } t \in [49; 51] \\ 1 - |t - 50,75|/0,75 & \text{для } t \in [50; 51,5] \\ 1 - |t - 52| & \text{для } t \in [51; 53] \end{cases} \quad (1)$$

Функция принадлежности для лингвистической переменной "Расход":

$$\mu(D) = \begin{cases} 1 - |D - 67,5| & \text{для } D \in [66,5; 68,5] \\ 1 - |D - 70|/2,5 & \text{для } D \in [67,5; 72,5] \\ 1 - |D - 72,5| & \text{для } D \in [71,5; 73,5] \\ 1 - |D - 73,5| & \text{для } D \in [72,5; 74,5] \\ 1 - |D - 74,5| & \text{для } D \in [73,5; 75,5] \end{cases} \quad (2)$$

Работа модели объекта управления происходит в соответствии с базой правил:

1. если D это D_A , то T это T_A ,
2. если D это D_B , то T это T_B ,
3. если D это D_C , то T это T_C ,

4. если D это D_D , то T это T_D ,

5. если D это D_E , то T это T_E .

Результат (значение температуры) может быть получен при использовании нечеткого вывода на примере механизма Мамдани (Mamdani). Это наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких системах. В нем используется минимаксная композиция нечетких множеств. Для базы правил с 5 правилами обозначим степени истинности как $D_i(d)$, $i=1..5$.

Сначала определяются уровни "отсечения" для левой части каждого из правил:

$$a_i = \min(D_i(d)). \quad (3)$$

Далее находятся "усеченные" функции принадлежности:

$$T_i^*(t) = \min(a_i, T_i(t)), \quad (4)$$

композиция или объединение полученных усеченных функций, для чего используется максимальная композиция нечетких множеств:

$$MF(t) = \max(T_i^*(t)), \quad (5)$$

где $MF(t)$ – функция принадлежности итогового нечеткого множества.

Для дефазификации или приведения к четкости используем метод среднего центра, или центроидный метод. Геометрический смысл такого значения – центр тяжести для кривой $MF(t)$. Рис. 6 графически показывает процесс нечеткого вывода по Мамдани.

Проведение экспериментальных исследований на реальном объекте управления и сравнение полученных данных с результатами работы модели показывает, что имитационная модель ТП выпаривания молока и молочных продуктов с помощью аппарата нечеткой логики обладает высокой достоверностью и может быть использована при создании систем автоматического управления данным процессом.

Список литературы

1. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1973.
2. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. М.: Горячая Линия – Телеком, 2004.
3. Колемейцева М.Б., Хо Д.Л. Синтез адаптивного нечеткого регулятора для нелинейной динамической системы // Вестник МЭИ. 2000. № 9.

Колязов Константин Александрович – инженер, **Воробьева Алла Викторовна** – канд. техн. наук, проф.,
Шиянова Наталья Ивановна – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
"Систем управления" Московского государственного университета технологии и управления.

E-mail: kaskad006@mail.ru

Уважаемые читатели!

Продолжается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на второе полугодие 2007 г.
Оформить подписку Вы можете:

В России – индекс в каталоге "Роспечать" **81874** и
"Пресса России" **39206**

В Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, Украине –
индекс в каталоге "Пресса России" **39206**

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку,
прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте **www.avtprom.ru**