



## СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОЛОКА НА ЭТАПЕ ПРИЕМКИ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУШКИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Н.И. Шиянова, Е.Г. Валитова (МГУТУ), Р.А. Мунасыпов,  
А.И. Каяшев (УГАТУ), А.Е. Хардина (МГУТУ)

Представлена автоматизированная система оценки качества молочного сырья на этапе приемки. Разработана математическая модель процесса сушки молока на базе диаграмм вариантов последовательностей и экспериментальных переходных функций.

Ключевые слова: автоматизация, оценка качества молочного сырья, математическая модель, сушка молочных продуктов.

Особую значимость в условиях рыночных отношений приобретает вопрос обеспечения населения высококачественными продуктами питания отечественного производства, в частности сухими молочными продуктами. Контроль сырья на предприятиях перерабатывающей промышленности является основной задачей, от решения которой полностью зависит производство продукта гарантированного качества. В то же время, ТП в молочной промышленности характеризуются высокой интенсивностью и сложностью. Молочное сырье имеет нестабильные качественные и количественные характеристики, что требует контроля и управления параметрами ТП в режиме РВ [1]. Молочное сырье сортируют по качеству в зависимости от органолептических, физико-химических и микробиологических показателей.

### Автоматизированная система оценки качества молока на этапе приемки

Анализ жизненного цикла производства сухого молока позволяет сделать вывод, что на качество конечного продукта влияет качество промежуточного продукта на каждом этапе производства молочной продукции. Система управления качеством пищевой продукции предполагает контроль качества продукции на всех этапах жизненного цикла. Показатели качества,

подлежащие контролю при приемке молочного сырья и последующей сушки молочных продуктов, обрабатываются системой оценки качества (таблица).

Программная реализация алгоритма оценки качества молочного сырья позволяет обеспечивать оперативный контроль за качеством поставляемого сырья как со стороны персонала перерабатывающего предприятия пищевой промышленности, так и со стороны поставщиков сырья

Таблица. База продукционных правил и рекомендации по ликвидации причин неполадок

Наименование этапа	Параметры, подлежащие контролю и регистрации	Наименование выходного продукта
Приемка и подготовка сырья к переработке: – приемка молока цельного	Кислотность, Т Температура, °С Плотность, кг/м Массовая доля жира и белка, %	Цельное молоко
– очистка, охлаждение и хранение молока и сливок	Температура очистки молока, °С Температура охлаждения и хранения молока, °С	Очищенное и охлажденное цельное молоко
Нормализация состава молока	Объем нормализованного молока, м Массовая доля жира в нормализованном молоке, % СОМО	Нормализованное молоко заданной жирности
Пастеризация молочной смеси	Температура пастеризации, °С	Пастеризованное молоко
Сгущение молочной смеси	Массовая доля сухих веществ в сгущено молочной смеси, %	Сгущенная молочная смесь
Гомогенизация сгущенной молочной смеси	Давление гомогенизации, МПа Температура гомогенизации, °С	Сгущенная гомогенизированная молочная смесь
Сушка сгущенной гомогенизированной молочной смеси	Температура сгущенной смеси, поступающей в сушильную башню Температура воздуха, поступающего в сушильную башню Температура воздуха на выходе из сушильной башни	Сухой молочный продукт (готовый продукт)
Готовый продукт	Массовая доля жира, влаги % Кислотность, Т	Сухой молочный продукт
Упаковка и маркировка	Масса, г, кг	Сухой молочный продукт в таре
Хранение	Температура хранения, °С Относительная влажность воздуха, %	Сухой молочный продукт в таре

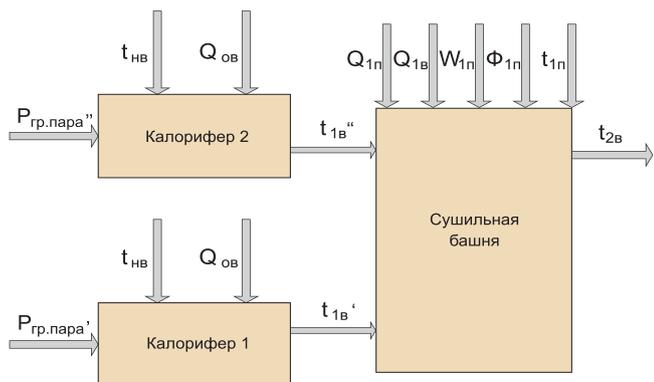


Рис. 1. Параметрическая схема сушильной установки

(имеется свидетельство о государственной регистрации программного продукта). БД программы для оценки качества молочного сырья состоит из 11 таблиц, связанных между собой отношениями «один – ко многим». При разработке программного продукта использовалась визуальная среда разработки C++ Builder 6.0 и объектно-реляционная система управления БД PostgreSQL.

**Автоматизация процесса сушки молока и молочных продуктов**

Рассмотрим процесс сушки молока и молочных продуктов, который осуществляется в сушильной установке.

Очищенный свежий воздух с температурой  $t_0$  и влажностью  $d_0$  подается вентилятором 1 в калорифер 2, где при постоянном влагосодержании подогревается до температуры  $t_1$  и затем снизу поступает в сушильную башню 3, внутри которой сверху на вращающийся распылительный диск 4 падает сгущенное молоко. Обработанный воздух выходит из сушильной башни с параметрами  $t_2$  и  $d_2$  [2]. Параметрическая схема сушильной установки показана на рис. 1 [3]. Соответствие между основными входными/выходными параметрами и возмущающими воздействиями сушильной установки представлено на рис. 2.

Входными параметрами для калориферов 1 и 2 является давление греющего пара на их входах  $P'_{гр.пара}$  и  $P''_{гр.пара}$ .

Выходными параметрами для калориферов являются:

- температура горячего воздуха на выходе из калорифера 1 (на входе в сушильную башню) —  $t_{1в}'$ ;
- температура горячего воздуха на выходе из калорифера 2 (температура горячего воздуха на входе в сушильную башню) —  $t_{1в}''$ .

Возмущающими параметрами для калориферов являются:

- температура окружающего (наружного) воздуха  $t_{нв}$ ;
- расход окружающего воздуха  $Q_{ов}$ .

Входными параметрами для сушильной башни являются:

- температура, расход, влажность горячего воздуха на входе в сушильную башню —  $t_{1в}'$ ,  $t_{1в}''$ ,  $Q_{1в}$ ,  $\Phi_{1п}$ ;

- температура, расход, влажность сгущенного молока на входе в сушильную башню  $t_{1п}$ ,  $Q_{1п}$ ,  $\Phi_{1п}$ ;
- давление пара на паровую турбину  $P_{пара}$ .

Выходным параметром для сушильной башни является температура воздуха на выходе из сушильной башни  $t_{2в}$ .

На данном объекте управления выделим управляющие и возмущающие воздействия. Управляющими воздействиями могут служить расход сгущенного молока, температура и расход горячего воздуха. Остальные параметры считаются возмущающими. Природа возмущающих воздействий носит случайный характер, то есть на объект управления интенсивно воздействуют неконтролируемые возмущения, причем они аддитивны.

Поэтому в данном случае целесообразно все неконтролируемые возмущения аддитивно заменить одним эквивалентным вектором возмущающих воздействий.

Анализ объекта управления показал, что для поддержания влажности сухого молока и молочных продуктов в пределах 3...3,2% достаточно поддерживать температуру на выходе из сушильной башни на уровне 65...75 °С, также необходимо, чтобы влажность сгущенного молока, поступающего в сушильную установку, находилась в пределах 58...52% влаги (42...48% по концентрации сухих веществ), а число оборотов распылительного диска составляло 8 тыс. ед./мин. Данный диапазон температур позволит поддерживать система автоматического регулирования влажности готового продукта, в которой применяется цифровой регулятор на базе микропроцессорного контроллера.

Анализ работы сушильной установки показал, что обеспечить статическую нагрузку сушильной башни проблематично, так как поступающее сырье (сгущенное молоко) в сушильную башню неоднородно по количеству и качеству (различной влажности и температуры), а следовательно, в системе периодически возникают переходные процессы, в частности:

- повышение влажности сухого продукта способствует понижению температуры воздуха на выходе из су-

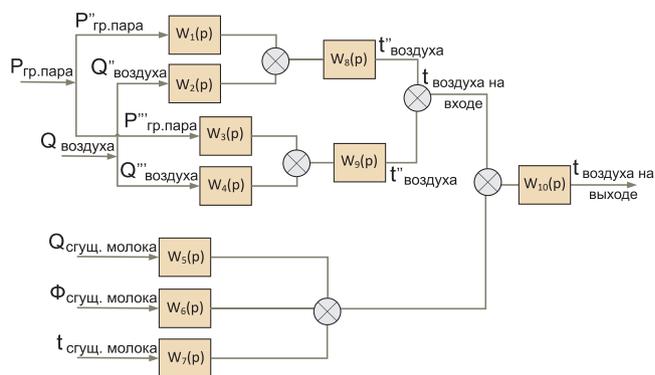


Рис. 2. Структурная схема сушильной установки как объекта управления

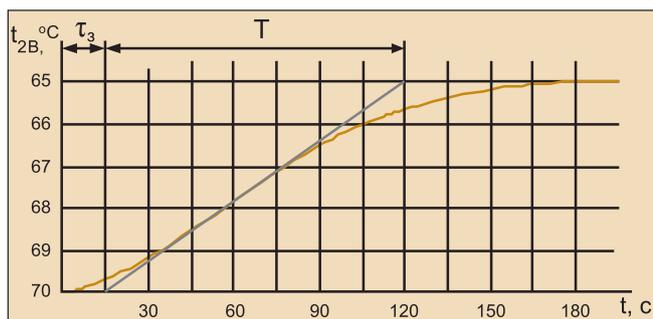


Рис. 3. Переходная функция сушильной башни по каналу «расход сгущенного молока – температура воздуха на выходе из сушильной башни»

сушильной башни, и как следствие, наблюдается снижение качества готовой продукции и ее рыночной цены; — снижение влажности сухого продукта, наоборот, приводит к повышению температуры воздуха на выходе из сушильной башни и, как следствие, к потере готового продукта из-за ее выгорания.

Анализ технологической системы как объекта управления позволил сформировать систему критериев, комплексно характеризующих эффективность ТП сушки молока и молочных продуктов.

Результаты обследований объекта управления – сушильной установки "Нема-500", а также анализ литературных данных показывают, что наиболее значимым критерием эффективности ТП сушки молока и молочных продуктов является влажность сухого молока и молочных продуктов как основной показатель качества готового продукта.

В настоящее время существуют приборы для измерения влажности в режиме РВ. Однако данные приборы обладают невысокой надежностью, и включение их в контур регулирования может привести к непредсказуемым последствиям, поэтому для управления процессом используют косвенный параметр – температуру воздуха на выходе из сушильной башни. Причем системой автоматического регулирования (САР) температура воздуха на выходе сушильной башни должна поддерживаться в пределах 65...70°C, тогда влажность готового продукта будет составлять 3...3,2%.

Регулирование температуры воздуха на выходе из сушильной башни изменением расхода сгущенного молока вызывает необходимость автоматического согласования производительностей установок сгущения и сушки.

На реально действующем объекте – сушильной установке "Нема-500" ЗАО "Мелеузовский молочно-консервный комбинат", получены переходные характеристики объекта регулирования по различным каналам, которые использовались в дальнейшем для настройки параметров типовых регуляторов.

На рис. 3 представлена переходная функция сушильной башни по каналу «расход сгущенного молока – температура воздуха на выходе из сушильной башни» [2].

Из рис. 3 видно, что время запаздывания для сушильной башни по данному каналу составляет  $\tau_3=15$  с, постоянная времени  $T=105$  с.

На данном этапе нет практической возможности проводить исследования по каналам "влажность сгущенного молока – температура воздуха на выходе" и "температура сгущенного молока – температура воздуха на выходе", так как воздействовать на параметры влажность и температура сгущенного молока весьма затруднительно.

Для разработки динамической модели сушильной башни представим уравнение теплового баланса в виде:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t - \tau), \quad (1)$$

где  $\frac{dQ(t)}{dt} = V \rho c \frac{dT_3(t)}{dt}$  – изменение количества тепла

в объеме сушильной башни, причем  $V$  – объем сушильной башни,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  – плотность смеси внутри сушильной башни,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  – удельная теплоемкость смеси внутри сушильной башни,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  $\tau$  – постоянная времени транспортного запаздывания, с.

В результате математических преобразований уравнение (1) можно представить в виде:

$$k_1 \frac{dT_3(t)}{dt} + k_2 T_3(t) = k_0 + k_3 T_2(t - \tau). \quad (2)$$

Приведем уравнение (2) к стандартному виду и с учетом обозначений получим динамическую модель сушильной башни:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_{\text{об}} u(t - \tau). \quad (3)$$

На основании уравнения (3), устанавливающего взаимосвязь между входным  $u(t)$  и выходным  $y(t)$  сигналами объекта, получим выражение передаточной функции объекта (сушильной башни) по каналу управления:

$$W_{\text{об}}(s) = K_{\text{об}} \frac{e^{-\tau s}}{1 + Ts}, \quad (4)$$

Поскольку значения параметров передаточной функции объекта определялись экспериментально, то при этом всегда существуют определенные погрешности, которые желательно учитывать при расчетах параметров настройки регулятора, используемого для управления процессом сушки молока.

Ввиду наличия указанных погрешностей значений параметров объекта адекватность модели была исследована методом доверительных интервалов [4]. Было показано, что с доверительной вероятностью 0,95 относительная ошибка идентификации объекта не превышает 2,4%.

С использованием математической модели объекта были рассчитаны параметры настройки типовых регуляторов и проведены исследования имитационных моделей системы контроля и управления процессом сушки молока с использованием SCADA-системы Trace Mode.

В настоящее время в ЗАО "Мелеузовский молоко-консервный комбинат" используются настройки системы автоматического регулирования, рассчитанные по математической модели. Это позволяет получать готовый продукт (сухое молоко и сухие молочные продукты) высокого качества и с заданной влажностью, так как процесс производства сухих молочных продуктов в данном случае происходит при оптимальных режимах, и соответственно, снижается потребление топливно-энергетических (газ – на 15%, электроэнергия – на 10%) и материальных ресурсов (потери готовой продукции – на 0,31%).

*Шиянова Наталья Ивановна – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Системы управления»,*

*Валитова Елена Геннадьевна – старший преподаватель,*

*Хардина Алина Евгеньевна – ассистент МГУТУ (филиал в г. Мелеуз),*

*Мунасыпов Рустем Анварович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Техническая кибернетика» УГАТУ (г. Уфа),*

*Каяшев Александр Игнатьевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Автоматизированные технологические и информационные системы» УГНТУ (филиал в г. Стерлитамак).*

*Контактный телефон (34764) 3-17-52. E-mail: Shianova58@mail.ru*

## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ АДАПТИВНЫЕ СЛЕДЯЩИЕ ПИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТП

**А.М. Шубладзе, С.В. Гуляев, В.Р. Ольшванг, В.А. Малахов (ИПУ РАН),**

**С.И. Кузнецов (ОАО «НИИТеплоприбор»)**

Представлены быстродействующие самонастраивающиеся ПИ системы максимальной степени устойчивости с идентификатором параметров модели объекта. ПИ системы предназначены для построения высокоточных следящих систем управления, поведение которых с достаточно высокой точностью аппроксимируется моделью, представляющей  $n$  последовательно соединенных инерционных звеньев с постоянной времени  $T_1$  и одно инерционное звено с постоянной времени  $T_2$ , которая существенно больше  $T_1$ .

Ключевые слова: быстродействие, самонастройка, ПИ-системы, регулятор, аппроксимация, постоянная времени, степень устойчивости.

Институтом проблем управления РАН совместно с ОАО «Ниитеплоприбор» разработаны адаптивные быстродействующие следящие пропорционально-интегральные (ПИ) системы максимальной степени устойчивости с идентификатором параметров модели объекта управления. Передаточная функция аппроксимирующей модели объекта управления имеет вид:

$$W(p) = k_0(T_1 p + 1)^{-n} (T_2 p + 1)^{-1}, T_2 > 10 T_1 \quad (1)$$

где  $k_0$  – статический коэффициент передачи объекта,  $p$  – оператор дифференцирования.

Моделью с передаточной функцией (1) аппроксимирует поведение многих промышленных объектов, входящих в состав следящих систем, поэтому построение быстродействующих адаптивных следящих ПИ систем управления объектами с моделью (1) является актуальной научной и практической задачей.

Решение этой задачи, как и в работе [1], основано на том, что при синтезе систем максимальной

степени устойчивости, описанном в работах [2, 3, 4], известен крайний правый корень кратности 3 характеристического полинома замкнутой системы, который входным дифференцирующим фильтром может быть «уничтожен».

В связи с этим решение задачи построения адаптивных быстродействующих следящих ПИ систем управления аperiodическими объектами должно содержать:

1) идентификатор, осуществляющий текущее оценивание параметров  $n$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  и  $k_0$  в процессе эксплуатации следящей системы при скачкообразном изменении задающего воздействия;

2) блок пересчета найденных параметров  $n$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  и  $k_0$  в оптимальные по степени устойчивости настроечные параметры  $k_{по}$  и  $k_{ио}$  для ПИ регулятора, обеспечивая по критерию максимальной степени устойчивости непрерывный режим адаптации параметров регулятора и входного форсирующего фильтра к изменяющимся параметрам объекта управления;