



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ГИДРОБИОНТОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

МАКСИМ ВОТИНОВ
votinovmv@yandex.ru

Статья посвящена исследованию эффективности конвективной и инфракрасной сушки гидробионтов в пищевой промышленности. Предложен стадийный метод сушки при работе комбинированного регулятора как наиболее оптимальный и энергоэффективный.

Одними из основных процессов обработки гидробионтов являются тепловые процессы (сушка, вяление, копчение), которые по своей структуре достаточно трудоемки и мало изучены с точки зрения эффективности.

В Мурманском государственном техническом университете спроектирована и изготовлена малогабаритная сушильная установка (МСУ) [2], предназначенная для разработки малоотходных технологических процессов получения солено-сушеных и копченых изделий (рис. 1).

В состав МСУ входит термокамера с элементами подогрева сушильного агента, а также блок автоматики, реализующий систему автоматического управления процессом сушки гидробионтов. Конструкция для подготовки и подогрева сушильного агента включает следующие элементы:

- центробежный нагнетательный вентилятор;
- камера нагрева воздуха с трубчатым электронагревателем (ТЭН) мощностью 2 кВт;
- лампы инфракрасного излучения (ИК лампы) мощностью 2 кВт.

На примере данной установки были проведены исследования по определению влияния методов сушки рыбы (конвективной, ИК) на энергоэффективность и интенсификацию процессов при различной температуре (+30, +50, +80, +120 °С). В качестве сырья использовалась рыба путассу с содержанием соли 3,2% и начальной влажностью 78%.

На рис. 2 представлены графики изменения основных контролируемых величин при конвективной сушке рыбы (работа трубчатого электронагревателя, ТЭН) и поддержании температуры в термокамере сушильной установки при помощи ТЭН на уровне +50 °С.

Как показывают графики, система автоматического управления поддерживала на заданном уровне температуру в камере сушильной установки, однако температура поверхности рыбы, контролируемая ИК-датчиком температуры, так и не достигла +50 °С до конца эксперимента (24 000 с). Относительная влажность в термокамере была на стабильном уровне 23–26%. За время эксперимента рыба потеряла 50% своей массы.

В дальнейшем исследовании при аналогичных начальных условиях и заданных параметрах выполнялась ИК-сушка, особенностью которой является контроль температуры в термокамере, а температуры поверхности рыбы с помощью ИК-датчика температуры. Подаваемый в термокамеру извне сушильный агент подвергался подогреву с помощью ТЭН, работающего при 15% подводимой мощности. На рис. 3 представлены графики изменения основных контролируемых величин при ИК-сушке рыбы.

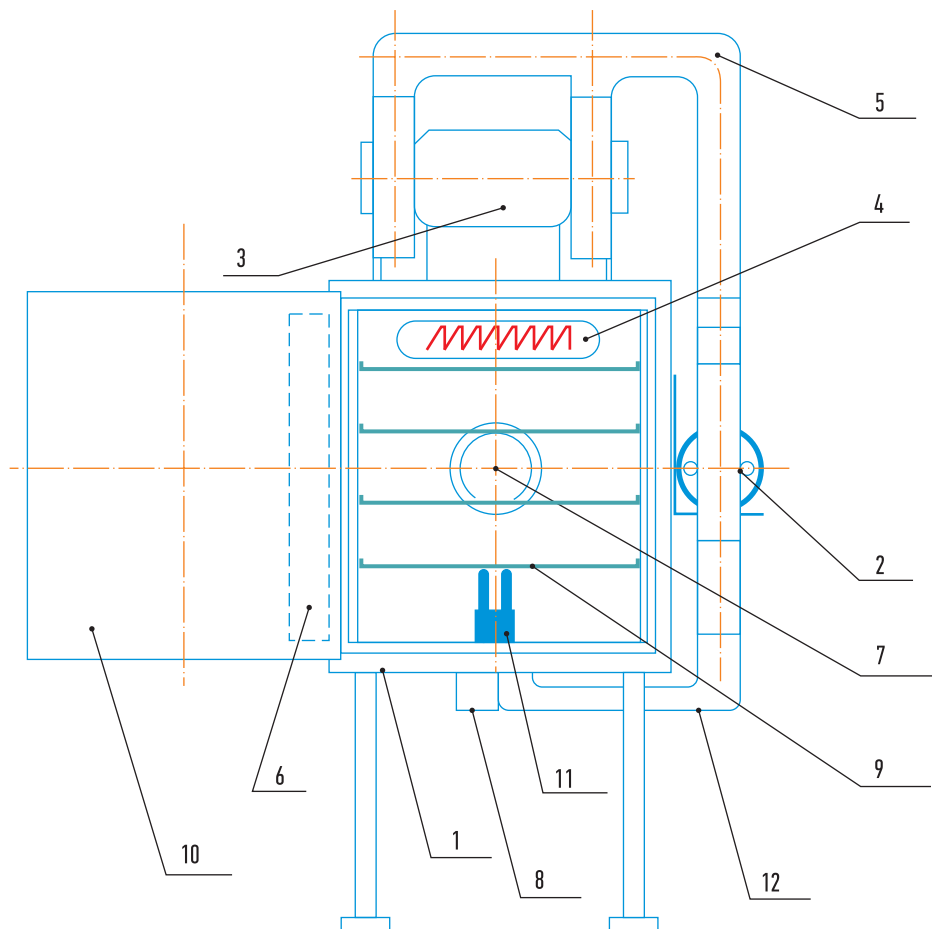
Как показывают графики, подводимой к ИК-лампам мощности хватало как на поддержание температуры поверхности рыбы на уровне +50 °С, так и на поддержание температуры в термокамере на таком же уровне. Однако спустя час (3600 с) после начала эксперимента, было замечено, что температура в термокамере начинает

опускаться. Соответственно, начинает увеличиваться относительная влажность — с 26% до 30%. Такое явление объясняется внутренним прогревом рыбы, вследствие которого на поддержание температуры ее поверхности требуется меньшее количество электроэнергии, потребляемой ИК-лампами. Вместе с тем, как и было определено ранними исследованиями [1], ИК-сушка является более энергоэффективной по сравнению с конвективной. Так, потеря массы в 50% была зафиксирована уже через 18 000 с эксперимента.

Проведенные исследования позволили сформулировать принципы оптимальности процесса сушки гидробионтов, позволяющие достичь уменьшения энергозатрат на технологический процесс по сравнению с традиционными методами сушки:

- соблюдение заданного температурного режима сушки;

РИС. 1. ▼
Малогабаритная сушильная установка:
1 — корпус;
2 — камера нагрева воздуха;
3 — двусторонний центробежный вентилятор;
4 — ИК-лампы;
5 — нагнетающий воздуховод;
6 — блок автоматики;
7 — входное отверстие подачи воздуха в камеру;
8 — патрубок выброса воздуха из камеры;
9 — сетчатые противни;
10 — дверь загрузки/выгрузки; 11 — датчик веса рыбы; 12 — колено обратной связи



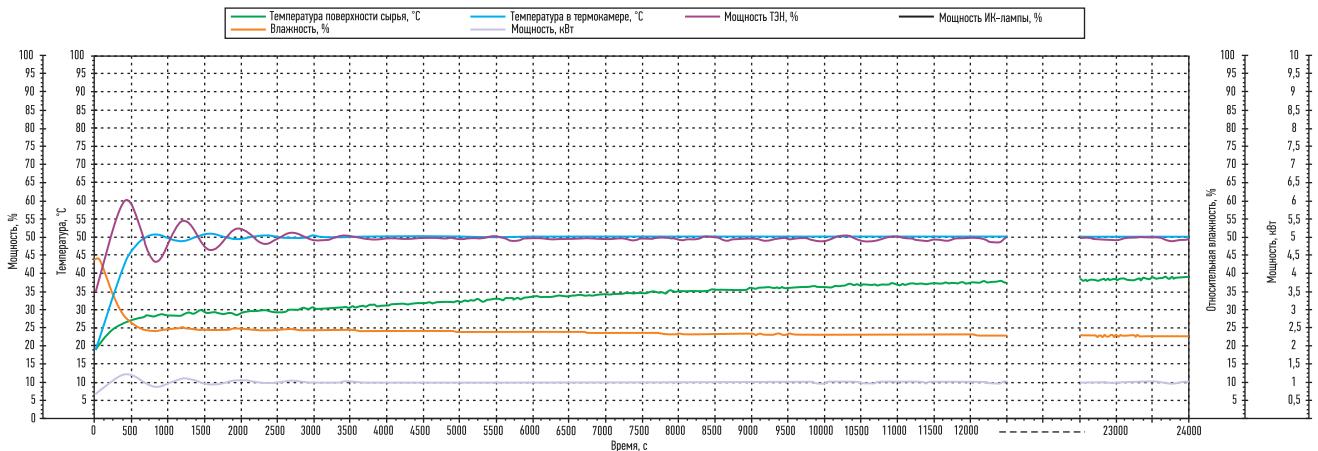


РИС. 2. ▲
Конвективная сушка

- контроль температуры поверхности рыбы с использованием ИК-датчиков температуры;
- параллельный контроль как температуры поверхности гидробионта, так и температуры в термокамере, т. е. создание благоприятного температурного поля для протекания технологического процесса.

Сформулированные принципы оптимальности процесса сушки гидробионтов легли в основу разработанного стадийного комбинированного метода сушки рыбы, при котором в процессе работают как ТЭН, так и ИК-лампы. Управляет исполнительными механизмами разработанный комбинированный регулятор, представляющий собой два программно объединенных ПИД-регулятора. Один регулятор выполняет контроль температуры в термокамере малогабаритной сушильной установки за счет ТЭН,

а второй регулирует температуру поверхности гидробионта с использованием ИК-датчиков температуры за счет ИК-ламп.

Структурная схема работы системы автоматического управления при стадийной комбинированной сушке представлена на рис. 4.

На рис. 5 представлены графики изменения основных контролируемых величин при разработанном стадийном методе сушки.

Контроль как температуры поверхности рыбы, так и температуры в термокамере малогабаритной сушильной установки позволяет строго выдерживать установленный температурный режим сушки.

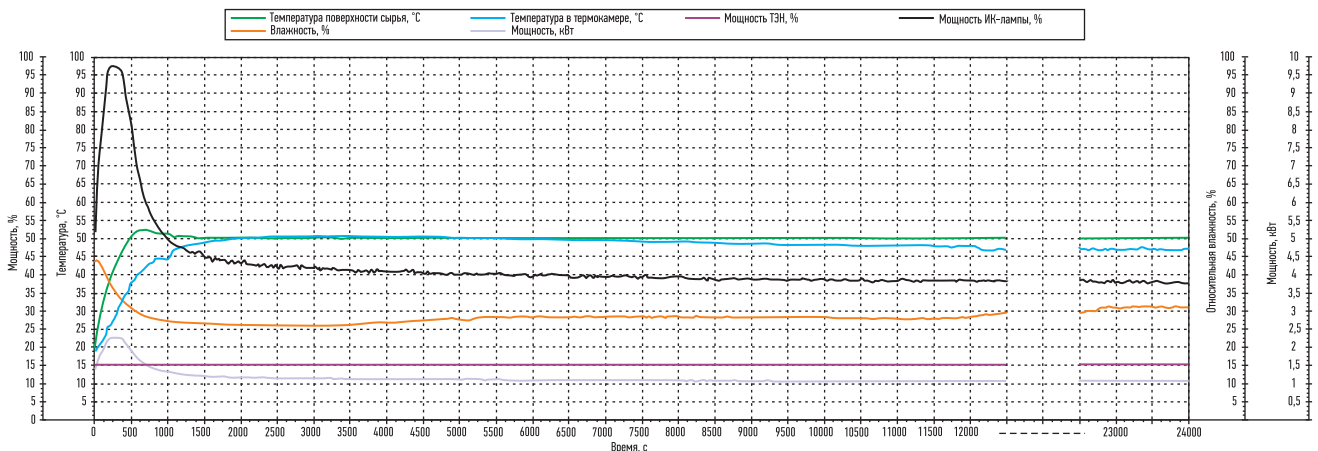
В начальный момент времени работают ИК-лампы и ТЭН, которые формируют заданный температурный режим сушки в +50 °C. Как только данный режим установился, начинается следующая ста-

дия: система автоматики отключает работу ТЭН и в дальнейшем подает на него такое количество мощности, которое необходимо для компенсации проседания температуры и увеличения влажности в термокамере, показанного на рис. 3. Потеря массы в 50% была зафиксирована уже через 15 000 с.

В таблице представлены результаты исследования влияния методов сушки рыбы на энергоэффективность и интенсификацию процессов.

Как показано в таблице, разработанный метод сушки дал наилучшую эффективность: наименьшие затраты электроэнергии и наименьшее время сушки при одном и том же готовом продукте. Экономия при использовании комбинированного регулятора в системе управления достигает 26% по сравнению с конвективной сушкой и 13% по сравнению с ИК-сушкой. Для других

РИС. 3. ▼
Инфракрасная сушка



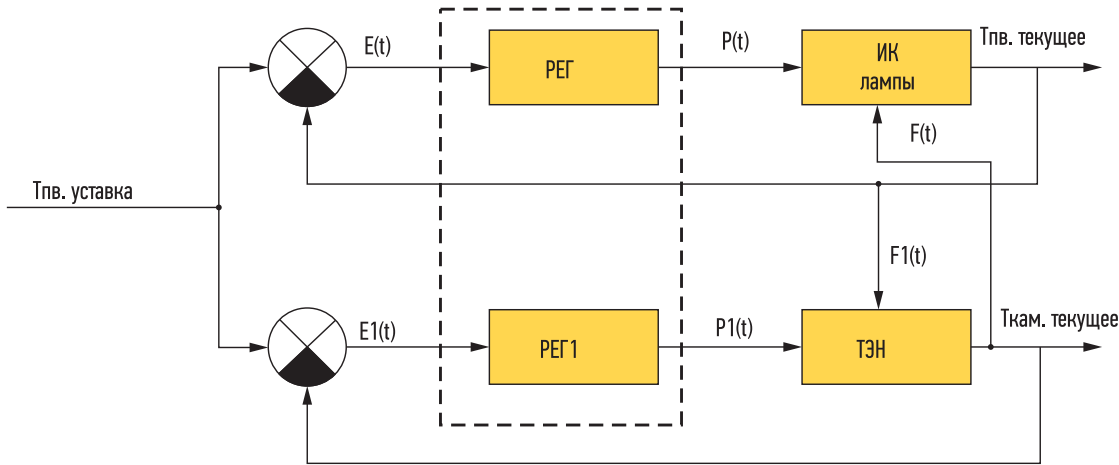


РИС. 4. Структурная схема системы автоматического управления при стадийном комбинированном методе сушки: $T_{пв. уставка}$ — уставка температуры поверхности рыбы и температуры в камере; $E(t)$ — рассогласование по температуре поверхности рыбы; $E1(t)$ — рассогласование по температуре в термокамере; РЕГ, РЕГ1 — комбинированный регулятор; $P(t)$ — выработанное управляющее воздействие для ИК-ламп; $P1(t)$ — выработанное управляющее воздействие для ТЭН; $F(t)$, $F1(t)$ — возмущающие воздействия ИК-ламп и ТЭН на формирование температуры поверхности рыбы и температуры в термокамере; $T_{пв. текущее}$ — температура поверхности рыбы; $T_{кам. текущее}$ — температура в термокамере

исследуемых температурных режимов эффективность разработанного метода управления технологическим процессом подтвердилась.

Параллельный контроль температуры поверхности рыбы и температуры в термокамере позволил создать благоприятное температурное поле для протекания технологического процесса. Стадийная работа исполнительных механизмов при использовании комбинированного регулятора является наиболее энергоэффективным методом сушки, способствующим снижению затрат на производство сушеной продукции и, как следствие, на себестоимость готовой продукции.

Таким образом, сформированные теоретически принципы оптимальности процесса сушки гидробионтов позволили на практике реализовать комбинированный регулятор

и повысить эффективность технологического процесса сушки. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Вотинов М. В., Ершов М. А., Маслов А. А. Исследование энергоэффективности процессов сушки гидробионтов в пищевой рыбной промышленности // Рыбное хозяйство: научно-практический и производственный журнал. 2012. № 4.

хозяйство: научно-практический и производственный журнал. 2012. № 4.

2. Пат. 117266 (РФ), МПК9 А 23 В 4/03. Малогабаритная сушильная установка / М. В. Вотинов, М. А. Ершов, В. А. Похольченко. Заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО «Мурм. гос. техн. ун-т». № 2012109371/15; заявл. 12.03.2012; опубл. 27.06.2012. // Бюл. № 18.

ТАБЛИЦА. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ СУШКИ РЫБЫ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ПРОЦЕССОВ

Параметр	+50 °С		
	ТЭН	ИК-лампы	Стадийная сушка
Начальная масса, г	280	278	283
Конечная масса, г	140	139	142
Массопотери, %	50		
Продолжительность, с	24 000	18 000	15 000
Продолжительность, ч	6,6	5	4,16
Средняя подаваемая мощность, %	49,56	56,35	58,67
Затраты электроэнергии, кВт	0,99	1,12	1,17
Затраты электроэнергии, кВт·ч	6,6	5,6	4,86

РИС. 5. Стадийная комбинированная сушка

