

УДК 664

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ФИЛЕ ОКУНЯ МОРСКОГО

Шокин Григорий Олегович
Мандрыка Константин Станиславович
аспиранты

ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет»

Аннотация: В статье представлены результаты экспериментального определения тепловых свойств филе окуня морского с использованием термографического метода и разработанного лабораторного стенда. Впервые показано, что применение термографического метода возможно для уточнения характеристик рыбы – коэффициентов температуропроводности и теплопроводности, объемной теплоёмкости – важных с точки зрения оптимизации процессов теплопереноса в специальных технологических процессах (копчения и подкапчивания).

Ключевые слова: морской окунь, термография, тепловые свойства.

Abstract: The article presents the results of experimental determination of the thermal properties of sea bass fillet using the thermographic method and the developed laboratory stand. It is shown for the first time that the application of the thermographic method is possible to clarify the characteristics of fish – the coefficients of thermal conductivity, volumetric heat capacity – which are important from the point of view of optimizing the processes of heat transfer in special technological processes (smoking).

Key words: sea bass fillet, thermography, thermal properties.

Тепловые технологические процессы составляют основу специальных процессов переработки сырья водного происхождения, в том числе рыбного сырья. К наиболее распространенным технологиям, базирующимся на теплопереносе относятся холодное и горячее копчение, подкапчивание, горячая сушка, стерилизация и пастеризация и предварительная тепловая обработка, в том числе бланширование. Для реализации указанных технологических процессов используют специальные аппараты и оборудование с высоким энергопотреблением, что отражается на себестоимости продукции и ее

конкурентоспособности на потребительском рынке. Снижение энергозатрат на единицу готовой рыбной продукции, повышение энергоэффективности переработки рыбы является ключевой задачей предприятий отрасли на ближайшую перспективу, поставленной в Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 года [1].

Решение указанной задачи возможно при условии инновационного обновления теплового технологического оборудования – коптильных и сушильных камер, дымогенераторов и стерилизаторов, бланширователей, дефростеров, пастеризаторов и универсальных термокамер. Для выполнения этого условия необходимы исследования по оптимизации тепловых технологических процессов на основе математического моделирования, а также исследования по определению тепловых свойств рыбного сырья.

Обзор литературы и проведенный патентный поиск показали, что в последние годы активно ведутся разработки по совершенствованию технологических аппаратов и оборудования для переработки рыбы, изыскания в области моделирования тепловых процессов и их оптимизации. Однако практически отсутствуют сведения об исследованиях тепловых свойств рыбы и нерыбных объектов промысла. При этом существующая практика применения упрощенных расчетов тепловых характеристик рыбы существенно снижает как точность математических моделей с их использованием, так и эффективность оптимизации на основе моделирования [2].

С учетом вышеизложенного актуальную цель исследования представляет разработка метода определения тепловых свойств рыбы и нерыбных объектов промысла для повышения адекватности математического моделирования тепловых технологических процессов.

В основе предлагаемого способа определения тепловых свойств рыбы лежит термографический метод с элементами импульсного теплового контроля, для реализации которого разработан специальный лабораторный стенд [3, 4, 5].

Определение тепловых свойств – объемной теплоемкости C , Дж/(м³·К), коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·К) и коэффициента температуропроводности (потенциалопроводности теплопереноса) a , м²/с – представляет собой формирование достаточно тонкого, толщиной не более 15 мм слоя мышечной ткани рыбы с однородным температурным полем внутри, которое достигается термостатированием опытного образца мышечной ткани.

Подготовленный опытный образец подвергают краткому, не более 15 с, воздействию мощного теплового импульса, формируемого ИК-лампой, после чего при помощи тепловизора и пирометра фиксируют прохождение «тепловой волны» через слой мышечной ткани рыбы. Использование тепловизора и пирометра позволяет определять температуру облученной и необлученной поверхностей слоя мышечной ткани гораздо точнее, чем при использовании контактных термопар. Имеющееся специальное программное обеспечение тепловизора позволяет быстро обработать большой массив снимков и получить данные о распределении температуры по поверхностям образца. Дальнейшие расчеты тепловых свойств проводятся по методу Паркера [6].

Результаты экспериментального определения тепловых свойств филе морского окуня, характеристика которого приведена в таблице 1, приведены ниже.

Таблица 1

Технохимический состав окуня морского

Параметр	Единица измерения	Значение
Вид разделки	-	Филе без кожи
Удельная поверхность	м ² /кг	0,16±0,06
Плотность	кг/м ³	1028
Массовая доля влаги	%	73,74±0,36
Массовая доля жира	%	4,97±0,11
Массовая доля белка	%	19,62±0,47
Массовая доля минеральных веществ (зола)	%	1,67±0,25
Толщина слоя филе	м	0,015

На рисунке 1 приведена зависимость избыточной температуры необлученной поверхности слоя мышечной ткани морского окуня от времени. На рисунке 2 приведена гистограмма избыточной температуры после обработки снимка с использованием программного обеспечения тепловизора «TESTO».

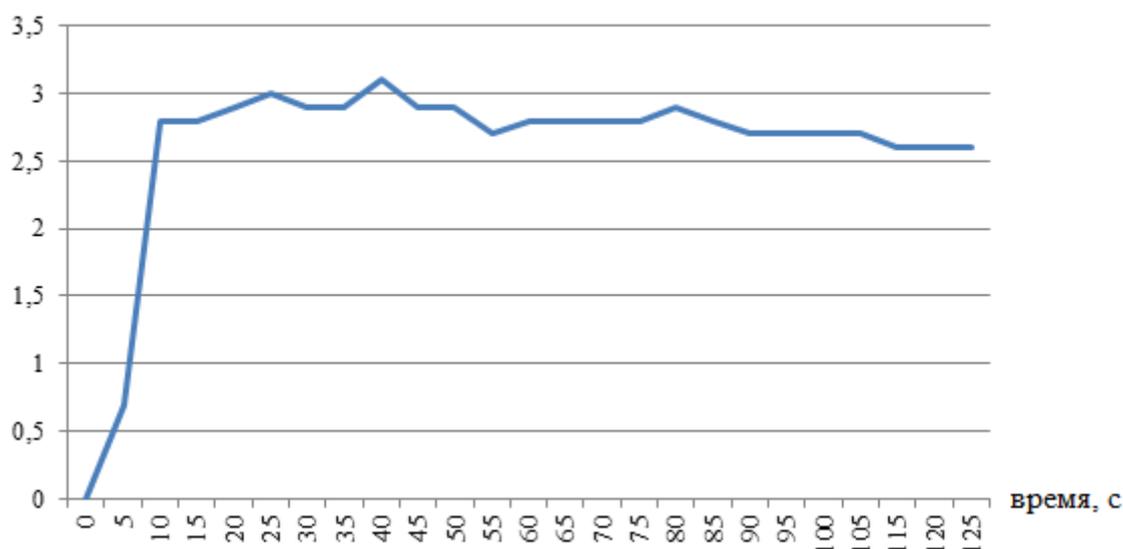


Рис. 1. Зависимость избыточной температуры необлученной поверхности слоя мышечной ткани морского окуня, полученная по термограммам тепловизора от времени, начальная температура рыбы 18,0 °С

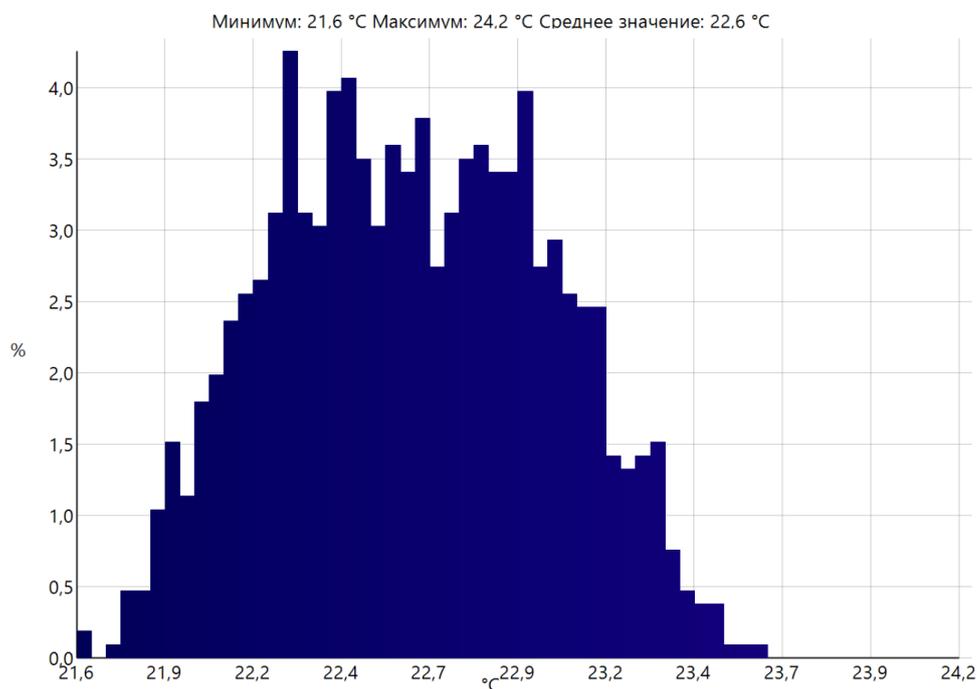


Рис. 2. Пример гистограммы после обработки снимка с использованием специального программного обеспечения тепловизора «TESTO»: по оси ординат вероятность обнаружения температуры в заданном диапазоне, %; по оси абсцисс – температура в области анализируемой поверхности

Результаты расчета тепловых свойств слоя мышечной ткани морского окуня на основе экспериментальных данных в сравнении с расчетными данными представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Теплофизические характеристики слоя мышечной ткани трески
атлантической с массовой долей влаги 82 %**

Максимальная избыточная температура необлученной поверхности слоя мышечной ткани рыбы, К (°С)	Половина периода достижения максимальной избыточной температуры необлученного слоя мышечной ткани рыбы, с	Коэффициент температуропроводности, м ² /с		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	
		эксперимент	расчетные данные ¹	эксперимент	расчетные данные ¹
3,2	12	$1,297 \cdot 10^{-6}$	$1,349 \cdot 10^{-7}$	0,528	0,481
Примечание: ¹ Данные получены с использованием наиболее часто применяемых формул для расчета тепловых свойств рыбы [7], как двухкомпонентной системы для известного значения массовой доли влаги. Измеренные тепловой поток в фокальном пятне 800 тВт/м ² , при длительности ИК-облучения 15 с, $Q_{\text{макс.}}$ составила 12 000 Дж/м ² .					

В результате исследований экспериментально с использованием разработанного лабораторного стенда определены тепловые свойства слоя мышечной ткани филе окуня морского. При сравнении экспериментальных значений тепловых свойств с данными упрощенного расчета установлена допустимая сходимость значений коэффициента теплопроводности и существенное расхождение (более чем в 10 раз) значений коэффициента температуропроводности. Уточнение тепловых свойств мышечной ткани морского окуня позволит повысить точность расчета оптимальных режимов тепловой обработки рыбы.

Список литературы

1. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года (с изменениями от 13 января 2017 года) – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902343994>

2. Шокин, Г.О. Метод определения теплофизических характеристик слоя сыпучих сред с элементами импульсного теплового контроля / Г.О. Шокин, А.Б. Власов, Ю.В. Шокина / Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. Труды Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. - № 1 (63). С. 63-70.

3. Шокин, Г.О. Способ определения параметров теплофизических характеристик слоя сыпучих технологических материалов / А.Б. Власов, Ю.В. Шокина, Г.О. Шокин / Пат. 2616343 Российская Федерация, МПК 25/18 (2006.01), 33/02 (2006.01), 33/46 (2006.01) / А.Б. Власов, Ю.В. Шокина, Г.О. Шокин; заявитель и патентообладатель МГТУ. – заявл. № 20151151929, 03.12.2015; опубл. 14.04.2017, Бюлл. № 11.

4. Шокин, Г.О. Результаты определения теплофизических характеристик сыпучих материалов методом с элементами импульсного ТК (PULSED THERMAL NDT) / Г.О. Шокина, А.Б. Власов, Ю.В. Шокина / Техника и технология пищевых производств : тезисы докладов X Международной научно-технической конференции, Могилев, 23–24 апреля 2015 г. / Могилев: Могилевский государственный университет продовольствия. – 2015. С. 6

5. Вавилов, В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. М.: Издательский дом «Спектр», 2013. 554 с.

6. Parker, W.J. A Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity, and Thermal Conductivity / W.J. Parker, R.J. Jenkins, et al. // U.S. Navy Report USNRDL-TR-424, May 1960/

7. Охлаждение и замораживание растительного сырья : учеб. пособие. Ч. 1. Охлаждение / Б. Н. Семенов, А. М. Ершов, А. Б. Одинцов, Н. Н. Рулев ; Гос. ком. Рос. Федерации по рыболовству, МГТУ. - Мурманск : МГТУ, 2000. - 74 с. : ил. - ISBN 5-86185-096-8 : 35-00. 36.91 - О-92