

УДК 664.951.3

## Повышение энергоэффективности ИК-дымогенератора на основе оценки тепловых потоков методом количественной термографии

К.Б. Аллюров<sup>1</sup>, А.Б. Власов<sup>2</sup>, Ю.В. Шокина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Технологический факультет МГТУ, кафедра технологии пищевых производств

<sup>2</sup> Судомеханический факультет МА МГТУ, кафедра электрооборудования судов

**Аннотация.** Разработана методика тепловизионной диагностики тепловых потоков ИК-дымогенератора (ИК-ДГ), позволяющая получать объективные данные о величине этих потоков дистанционно, что делает процесс диагностики на порядок доступнее и легче. Разработанная методика позволяет выявлять непроизводительные тепловые потоки аппарата и существенно облегчает задачу оптимизации тепловых потоков с целью энергосбережения.

**Abstract.** Methods for thermovision diagnostics of heat flow for infrared smoke generator has been developed. The methods help to get objective data about the size of these flows remotely, that makes the diagnostic process easier and more accessible. The developed methods make it possible to reveal unproductive heat flows and considerably simplify optimization of heat flows for the purpose of power supply.

**Ключевые слова:** копчение, канцерогенная безопасность продукции, дымогенерация, ИК-энергоподвод, термография, тепловизионная диагностика, тепловой поток

**Key words:** smoking, carcinogenic safety of product, smoke generation, infrared energy supply, IR thermography, thermovision inspection, heat flows

### 1. Введение

В принятой и одобренной Правительством Российской Федерации "Концепции развития рыбного хозяйства РФ на период до 2020 года" были намечены основные цели и задачи перспективного развития российского рыбохозяйственного комплекса (РХК). В числе задач, обозначенных в Концепции как "требующие решения в ближайшее время", были перечислены:

- расширение проведения научных исследований и разработок в области рыбного хозяйства, а также развитие научно-технического потенциала отрасли с целью обеспечения ее инновационного развития;
- создание новых технологий глубокой и комплексной переработки сырья, а также совершенствование методов хранения и транспортировки рыбной продукции.

По данным наиболее авторитетного российского маркетингового агентства РБК в 2009 году в натуральном выражении неконсервированная рыбная продукция занимала 33 % объемов рынка всей рыбной продукции, из них пятая часть приходится на копченую рыбу (рис. 1).

С учетом того, что копчение является одним из самых распространенных видов консервирования, а копченые мясные и рыбные продукты широко востребованы, проблема заражения продукции токсичными продуктами разложения древесины, в том числе обладающими канцерогенным действием, требует скорейшего решения. На сегодняшний день ни одна из технологий получения коптильной среды не может гарантировать полного отсутствия в ней указанных веществ (Шокина и др., 2010b).

Одним из перспективных направлений решения этой задачи является применение современной дымогенераторной техники, к которой, безусловно, можно отнести ИК-дымогенератор, разработанный на кафедре ТПП ("Технологий пищевых производств") МГТУ в конце 90-х годов (Шокина и др., 2010a; Коробицин, 2008).

Главным преимуществом этого дымогенератора является использование для получения дыма предварительно увлажняемого топлива – древесных опилок и энергии инфракрасного излучения, что создает условия генерирования дыма при температурах, не превышающих температуру от 350 до 400 °С. Такие температуры дымогенерации существенно снижают риск образования канцерогенных и проканцерогенных соединений. Получаемый в ИК-ДГ дым позволяет сформировать в продукции вкус и аромат традиционного копчения. Кроме того, в дыме практически отсутствуют смолистые вещества, что улучшает санитарно-экологическое состояние коптильных камер (Шокина и др., 2009).

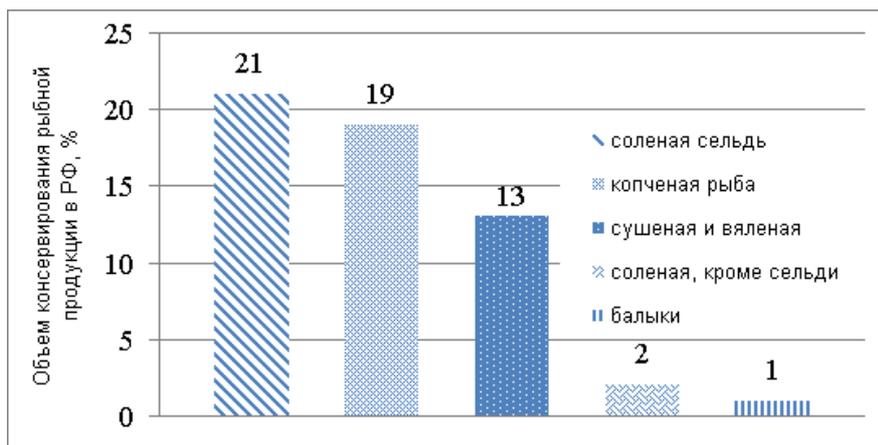


Рис. 1. Объем рынка консервированной рыбной продукции в РФ

При дымогенерации с ИК-энергоподводом теплота излучения расходуется на нагрев топлива в начальный период и пиролиз топлива в последующем, часть ее идет на нагрев дымовоздушной смеси и корпуса дымогенератора. После экспериментального определения углов облучения каждой из ламп и всех ламп вместе было установлено, что конструкция ИК-дымогенератора обеспечивает подвод не более 42 % мощности генераторов ИК-излучения к топливу (Коробицин, 2008). Таким образом, оптимизация тепловых потоков в инфракрасном дымогенераторе с целью повышения его энергоэффективности представляет собой весьма актуальную задачу.

## 2. Объекты, методы и результаты исследования

Современные средства тепловизионной диагностики (тепловизионные приемники, приборы ночного видения, пирометры) предоставляют широкие возможности для исследования инфракрасного излучения, исходящего от нагретых объектов, таких как: промышленные объекты, энергетическое оборудование, технические устройства. С помощью данных приборов визуальное невидимое излучение преобразуется в видимое, становится возможным исследовать особенности нагрева объектов, определить температуру поверхности удаленных аппаратов (Власов, 2005b). Использование методов количественной термографии при оценке технического состояния оборудования позволяет выявить температурные различия на поверхности объекта и определить влияние данных различий на суммарный тепловой поток, обосновать необходимость и перспективы по оптимизации с целью энергосбережения.

Анализ особенностей и преимуществ метода количественной термографии позволяет использовать тепловизионную технику для разработки и дальнейшего использования методики достоверной дистанционной диагностики тепловых потоков ИК-ДГ.

С целью снижения теплопотерь в окружающую среду и повышения энергоэффективности аппарата, а также для поиска зависимостей температурного поля на поверхности аппарата от температурного поля внутри было исследовано распределение температуры на поверхности ИК-дымогенератора методом количественной термографии.

С указанной целью проводились замеры температурного поля поверхности ИК-дымогенератора при помощи тепловизоров TESTO 875, AGA-782 и пирометра CENTER 350. Замеры проводились на лицевой, задней, верхней, нижней, боковых поверхностях внешнего кожуха ИК-дымогенератора, а также для поверхностного слоя топлива в кассетах.

Тепловизионная диагностика проводилась при стационарном, установившемся режиме работы ИК-ДГ. В качестве стационарного режима был выбран период работы ИК-дымогенератора, следующий за начальным периодом разогрева, начало активного дымообразования (полного обугливания верхнего дымообразующего слоя топлива). Измерения проводили по истечении 10-15 минут после выхода на стационарный режим работы аппарата.

На рис. 2 представлены результаты эксперимента по оценке температурных полей при помощи тепловизора AGA. Теплограммы наложены на поверхность объекта для лучшей визуализации.

Параллельно проводились опыты по определению различных температурных полей при помощи пирометра CENTER 350. Для определения температуры поверхность была разделена на сетку с квадратной ячейкой 50 × 50 мм, в отдельных случаях, для получения более точного результата, – 25 × 25 мм, в узлах которой и производились замеры. В связи с ограниченным доступом к боковым поверхностям аппарата тепловизионная диагностика боковых поверхностей внешнего кожуха ИК-дымогенератора проводилась не на всей, а на ограниченной площади. По результатам замеров в

математической программе STATISTICA 8.0 были построены теплограммы. Для улучшения визуализации полученные результаты были наложены на трехмерную модель исследуемого аппарата.

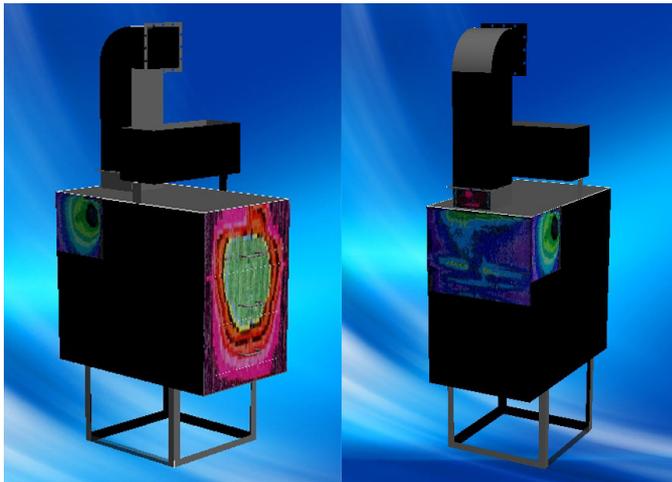


Рис. 2. Трехмерная модель ИК-дымогенератора с изображением температурных полей

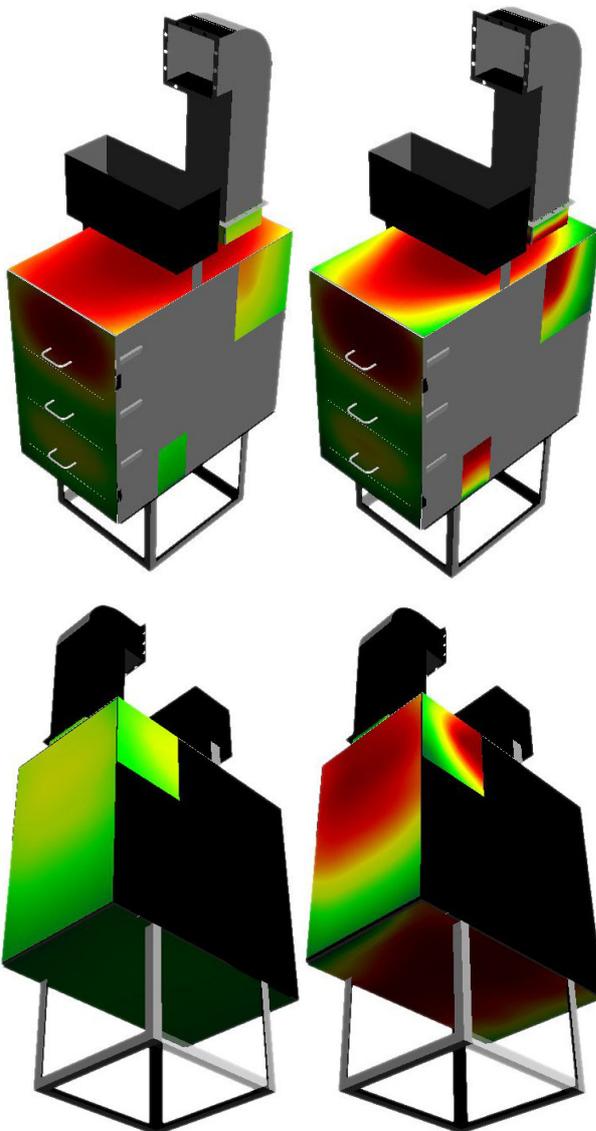


Рис. 3. Трехмерная модель ИК-дымогенератора с изображением температурных полей. Вид "спереди"

Рис. 4. Трехмерная модель ИК-дымогенератора с изображением температурных полей. Вид "сзади"

На рис. 3 и 4 представлены результаты эксперимента по оценке температурных полей при помощи пирометра. Термограммы на изображениях 3а и 4а представлены в диапазонах температур от 0 до 175 °С. Температурный диапазон термограмм, представленных на изображениях 3б и 4б, был выбран с учетом максимальной и минимальной температуры каждой конкретной поверхности, а не аппарата в целом. Так, для термограммы верхней поверхности (рис. 3б) диапазон был выбран от 85 до 170 °С, а для термограммы нижней поверхности (рис. 4б) от 15 до 29 °С. Это дает возможность лучше представить распределение температур на каждой из поверхностей.

По результатам тепловизионной диагностики был произведен расчет плотности тепловых потоков и суммарного теплового потока для каждой изученной поверхности. Данные расчетов были получены при помощи специальной программы ALNEW5, которая предназначена для определения коэффициентов теплоотдачи с поверхности различных объектов. С помощью программы, применяемой при обработке данных тепловизионных испытаний, производится теоретический расчет плотности теплового потока с учетом геометрических параметров (форма, размер объекта, угол наклона поверхности), материала поверхности, температуры окружающей среды (Власов, 2005а).

Результаты расчета суммарного теплового потока от всех внешних поверхностей ИК-дымогенератора в период процесса стационарного дымообразования приведены в таблице и на рис. 5. Суммарная мощность источников ИК-энергоподвода во время дымообразования равнялась 5,5 кВт.

Таблица. Тепловые потоки, исходящие от поверхностей в процессе стационарного дымообразования

Поверхность внешнего кожуха ИК-дымогенератора	Тепловой поток $Q$ , Вт	Тепловой поток $Q$ , %
Лицевая	395,58	13,93
Верхняя	1046,71	36,85
Нижняя	67,01	2,36
Задняя	212,13	7,47
Боковая правая	556,33	19,59
Боковая левая	496,40	17,48
Труба	16,58	0,58
Суммарный поток	2840,45	100,00

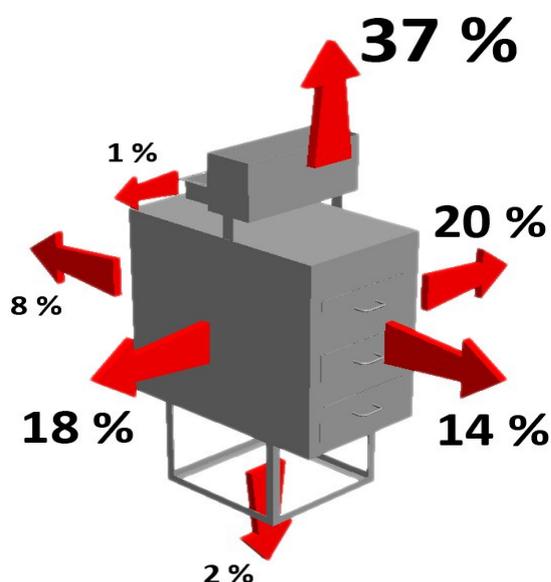


Рис. 5. Суммарные тепловые потоки от поверхностей ИК-дымогенератора

### 3. Заключение

По результатам проведенных экспериментов установлена возможность применения методов количественной термографии для дистанционной оценки тепловых потоков ИК-ДГ. С целью энергосбережения и повышения энергоэффективности ИК-ДГ разработана методика оценки тепловых потоков ИК-дымогенератора методом количественной термографии. С использованием разработанной

методики экспериментально установлен суммарный тепловой поток от ИК-ДГ, который составляет около 52 % количества подводимой энергии. Полученные данные подтверждают достоверность разработанной методики и не противоречат ранее полученным результатам (*Коробицин, 2008*).

Полученные данные по суммарному тепловому потоку от ИК-ДГ в окружающую среду позволяют разработать комплекс мер, направленных на повышение энергоэффективности аппарата.

#### **Литература**

- Власов А.Б.** Тепловизионная диагностика объектов электро- и теплоэнергетики. *Мурманск, МГТУ, 266 с., 2005а.*
- Власов А.Б.** Повышение достоверности технического диагностирования энергетического оборудования в системах энергообеспечения АПК методом тепловизионной диагностики. *Автореферат дис. ... доктора технических наук. СПб., Изд-во Аграрного университета, 33 с., 2005б.*
- Коробицин А.А.** Разработка математической модели процесса пиролиза топлива при дымогенерации с использованием энергии инфракрасного излучения. *Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, МГТУ, 23 с., 2008.*
- Шокина Ю.В., Коробицин А.А., Обухов А.Ю.** Разработка и совершенствование способов получения безопасных коптильных сред. *Рыбное хозяйство, № 5, с.80-83, 2009.*
- Шокина Ю.В., Аллояров К.Б., Коробицин А.А.** Расширение области применения математической модели пиролиза топлива в ИК-дымогенераторе повышенной производительности. *Вестник МГТУ: труды Мурман. гос. техн. ун-та, т.13, № 4/1, с.681-685, 2010а.*
- Шокина Ю.В., Обухов А.Ю., Коробицин А.А.** Получение дымовой коптильной среды с использованием энергии инфракрасного излучения. *Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов, № 3, с.92-97, 2010б.*