

## ПРИМЕНЕНИЯ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*Скорнякова Н.М.*

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

*Представлены теоретические и практические основы теневого фонового метода. Показаны применения теневого фонового метода для задач энергоэффективности и энергосбережения.*

**1. Введение.** Оптические методы исследования потоков относятся к давно известным методам [1, 2], без которых были бы невозможными современные достижения в науке и технике.

Теневой фоновый метод (ТФМ) является достаточно новым, но уже нашедшим широкое применение в различных областях. Одним из главных преимуществ ТФМ по сравнению с остальными оптическими методами диагностики потоков является простота его реализации. Схема экспериментальной установки для ТФМ состоит из некогерентного источника света, фонового экрана, исследуемого потока, видеокамеры или фотоаппарата, компьютера и программного обеспечения. В то же время при оптимальных параметрах установки можно получить высокие разрешение и чувствительность [3]. Кроме того, к достоинствам данного метода можно отнести неограниченное поле обзора и, следовательно, неограниченный размер исследуемого объекта, значительную скорость компьютерной обработки изображения, высокую точность, быстроту вычислений и двустороннюю чувствительность.

**2. Сущность метода.** В теневом фоновом методе используется искаженное изображение структурированных фоновых экранов. Суть метода заключается в регистрации двух снимков фонового экрана со структурой с множеством мелких неповторяющихся деталей и высоким оптическим контрастом в разные моменты времени. Одно из этих изображений регистрируется, когда в канале передачи изображений экрана нет возмущений среды. На другом снимке среда в канале передачи возмущена (включает интересующие нас неоднородности). Изменение состояния исследуемого объекта приводит к смещению точек фонового экрана в плоскости регистрации.

Чтобы выполнять обработку изображений, невозмущенное изображение должно быть взято как дополнительная регистрация фонового экрана без исследуемой среды. Далее проводится кросскорреляционная обработка полученных изображений.

**3. Практическая реализация теневого фонового метода.** Схема экспериментальной установки для записи картин визуализации по теневому фоновому методу представлена на рис. 1. Она состоит из некогерентного источника света 1, фонового экрана 2, исследуемого объекта 3, видеокамеры 4 и компьютера 5 со специализированным программным обеспечением.

Для подсветки экрана используется обыкновенная лампа накаливания. В качестве фонового экрана возможно применение любой некоторым образом структурированной картины, например: хаотически или регулярно расположенные точки различного размера и плотности, горизонтальные и вертикальные линии различной ширины с различными расстояниями между ними. С помощью этого метода возможно исследование произвольной оптически прозрачной среды.

Кратко рассмотрим влияние элементов экспериментальной установки на ее характеристики. Важным элементом установки является фоновый экран.

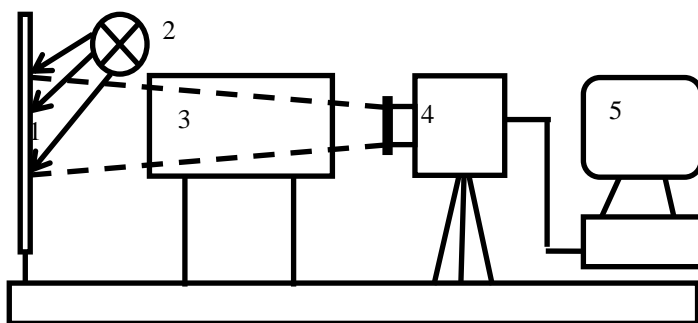


Рис. 1. Схема экспериментальной установки теневого фонового метода

Возможно применение как искусственных (специально смоделированных под конкретную задачу), так и натуральных экранов (стена с ярко выраженной фактурой, лес, металлическая сетка и т.п.).

В качестве приемного устройства в настоящее время используются цифровые приборы. Использование цифровых устройств заметно упрощает передачу данных в компьютер. В данном случае передача данных проводится через высокоскоростные интерфейсы от фотоаппарата или видеокамеры непосредственно в компьютер. Выбор применяемого прибора (фотоаппарат или видеокамера) определяется требуемым временным разрешением диагностики. Если исследуемый процесс является медленно протекающим, то бывает достаточно фотоаппарата, управляемого компьютером. Для более быстропротекающих процессов необходимо использование видеокамеры.

**4. Применения теневого фонового метода.** Области применения теневого фонового метода весьма различны. Рассмотрим его применения в задачах энергоэффективности и энергосбережения.

Пример визуализации процесса нагрева пластинки из оргстекла представлен на рис. 2. Объект эксперимента – органическое стекло толщиной в 25 мм. Схема эксперимента состоит в следующем. Металлическая емкость с горячей водой ставится на органическое стекло. Температура воды определяется с помощью термометра.

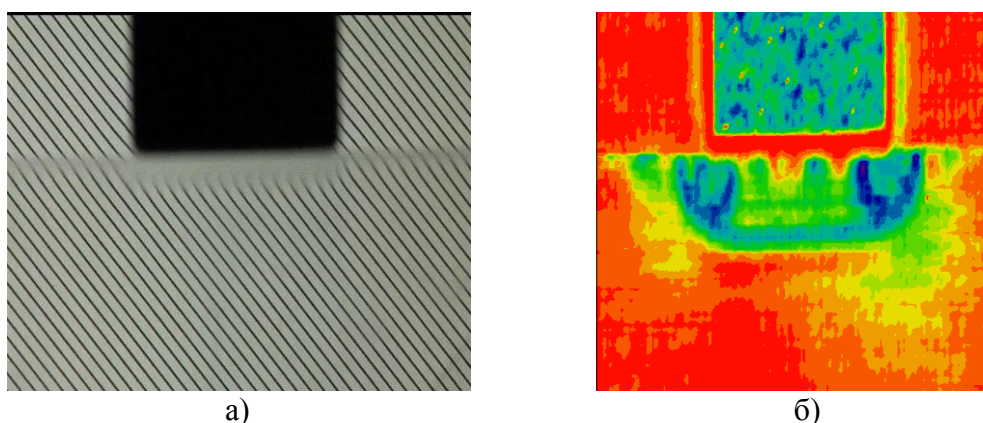


Рис. 2. Изображение фонового экрана при нагреве оргстекла (а) и результат кросскорреляционной обработки (б)

Также возможно применять ТФМ при исследовании потоков для исследования конвекции в воде около нагретого шара. Стальной шар диаметром 43,7 мм нагревается до температуры 100°C и опускается в емкость с водой при температуре 21°C. Емкость обладает размерами 120 × 180 × 200 мм<sup>3</sup>. В качестве рисунка фонового экрана используются случайно распределенные точки. Пример изображения нагретого шара на фоне экрана и результат, полученный при кросскорреляционной обработке, представлены на рис. 3.

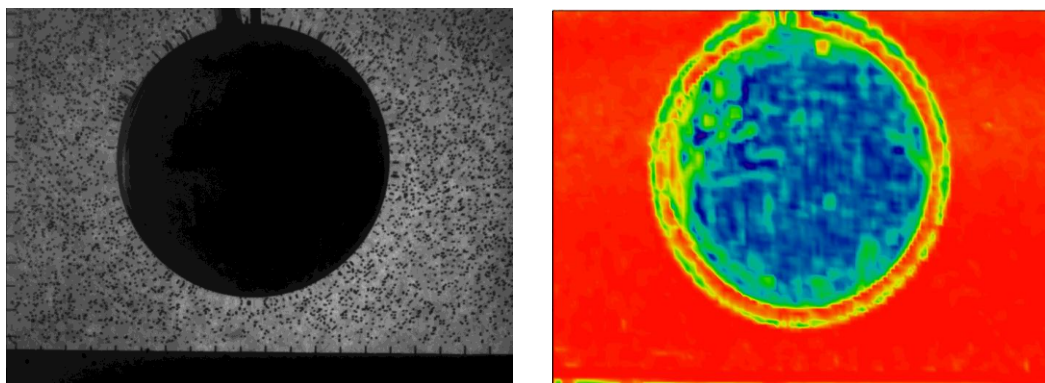


Рис. 3. Изображение нагретого шара на фоне экрана и результат визуализации

Еще одним примером применения ТФМ для задач энергоэффективности является контроль нагрева приборов при их работе.

Сначала было получено изображение при выключенном приборе, которое использовалось в качестве исходного изображения. Далее прибор был включен, и через каждую минуту нагрева в течение 30 минут регистрировались дополнительные изображения, а также фиксировались температура в контрольной точке и температура окружающей среды. За 30 минут прибор нагрелся на 10,5 градуса, а изменение температуры между кадрами колеблется от 0,1 до 0,6 градуса.

Результаты обработки для некоторых моментов времени показаны на рис. 4. Области, соответствующие наименьшему нагреву, показаны красным цветом, а области, соответствующие наибольшему нагреву – синим.

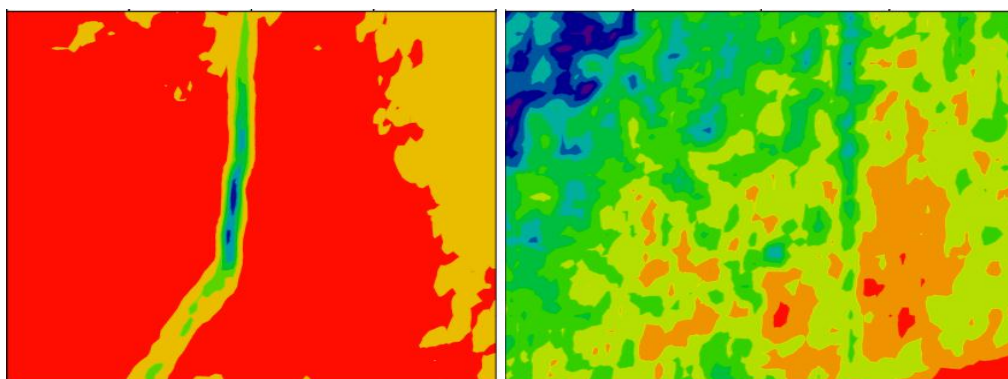


Рис. 4. Результат обработки для времени работы прибора 5 и 25 минут

**5. Заключение.** Теневой фоновый метод находит применения во многих областях исследований. С его помощью возможно получение как качественных, так и количественных визуализаций процессов горения, тепломассопереноса, перераспределения плотности воздуха. Основным фактором, определяющим его применение в различных областях, является предельная простота установки в сочетании с высокой чувствительностью.

#### Список литературы

1. Ринкевичюс Б.С. Лазерная диагностика потоков / Под ред. В.А. Фабриканта. – М.: Изд-во МЭИ, 1990 – 287 с.
2. Settles G.S. Schlieren and shadowgraph techniques: visualizing phenomena in transparent media. – Berlin: Springer-Verlag, 2001.
3. Meier G. E. A. Computerized background-oriented schlieren // Experiments in Fluids. 33. 2002. P. 181 – 187.