

УДК 536.33:536.244

Аэромеханика локальной зоны влияния газового инфракрасного излучателя*

**Б.В. Борисов, Г.В. Кузнецов, В.И. Максимов, Т.А. Нагорнова,
С.О. Салагаев, Ф.Ю. Салихов**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: elf@tpu.ru

Экспериментально установлены поля скоростей и структуры потоков воздуха в локальной рабочей зоне с горизонтальной панелью, обогреваемой газовым инфракрасным обогревателем, в режимах свободной и смешанной (при работе системы воздухообмена) конвекции с использованием оптического метода SIV (Smoke Image Velocimetry). Проведен анализ влияния структуры течения воздуха, возникающего в результате нагрева поверхностей, расположенных в локальной рабочей зоне, на формирование полей скоростей воздуха в условиях работы газового инфракрасного излучателя. Установлены масштабы влияния режима конвекции на аэромеханику локальной зоны, обогреваемой газовым инфракрасным излучателем.

Ключевые слова: газовый инфракрасный излучатель, SIV-метод, локальная рабочая зона, система воздухообмена.

Введение

Использование газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) — один из вариантов решения проблемы достижения экономически эффективного теплоснабжения предприятий с большими по объему и площадям производственными помещениями и малыми рабочими зонами [1]. Для создания регламентных условий для работающего в таких зонах необходимо обеспечить не только нормативную температуру, но и скорость движения воздуха (а также направление его перемещения) вследствие термогравитационной или смешанной конвекции как в помещении, так и в рабочей зоне. Однако на сегодняшний день основные закономерности аэромеханических процессов в локальных рабочих зонах при работе ГИИ не установлены.

Целью настоящей работы является экспериментальное определение закономерностей движения воздуха в локальной рабочей зоне в условиях подвода в эту зону теплоты от источника лучистого нагрева.

Применение современных приборов измерения скорости движения газов (анемометров) вследствие их конструктивных особенностей ограничено нижним пределом

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (код проекта 19-20-00226).

диапазона измерений (около 0,2 м/с). Такие приборы обладают также рядом недостатков: скорость воздуха измеряется только в определенных точках исследуемого пространства, невозможно определять направление движения среды. Кроме того, анемометры вносят возмущения в поток газов при вводе измерительного щупа. Вместе с тем известно, что оптические методы определения основных параметров перемещения воздушных масс таких недостатков лишены, поэтому они использовались в работе.

Объект исследования

Анализ влияния структуры течения воздуха, возникающего в результате нагрева поверхностей, расположенных в локальной рабочей зоне, на формирование полей скоростей воздуха в условиях работы газового инфракрасного излучателя проводился с использованием оптического метода SIV (Smoke Image Velocimetry), который основан на измерении перемещений турбулентных структур, визуализируемых в световом ноже при помощи трассеров.

Метод проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводились в изолированном боксе (рис. 1), ГИИ устанавливался на расстоянии 1,6 м от левой стены и на расстоянии от пола до нижней поверхности излучателя, равном 3 м. Горизонтальная панель из древесного материала размером $1,2 \times 0,6 \times 0,04$ м располагалась на каркасе из алюминиевых труб с пластиковым наружным покрытием на отметке 0,755 м от поверхности пола. Высокотеплопроводный материал и малый диаметр трубок позволили принять допущение о том, что используемый каркас не оказывает существенного влияния на формируемый тепловой режим в помещении. Начальная температура при проведении исследований находилась на уровне 7 °C. Воздухообмен осуществлялся в однократном режиме. Время проведения экспериментов составляло 60 мин, так как ранее было установлено, что за 50 мин работы ГИИ температуры характерных поверхностей достигают значений, близких к стационарным.

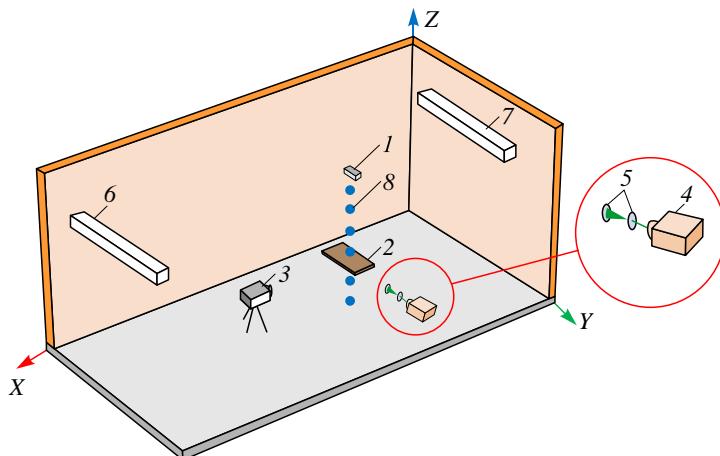


Рис. 1. Схема экспериментального бокса.

- 1 — ГИИ, 2 — горизонтальная панель (модель оборудования),
3 — высокоскоростная видеокамера, 4 — лазер,
5 — система зеркал для преобразования лазерного луча,
6, 7 — отверстия каналов системы воздухообмена,
8 — датчики температуры.

В работе использовался ультразвуковой генератор трассеров с жидкостью $C_3H_8O_2$. Динамика визуализируемого течения регистрировалась цифровой скоростной видеокамерой EVERCAM с частотой 1000 кадров в секунду. Для определения динамики векторного поля скорости по результатам дымовой визуализации применялась программа PivLab, разработанная на базе Mathworks MATLAB [2].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлены векторные и скоростные поля воздуха, сформированные над поверхностью панели в условиях свободной конвекции, к 60-й минуте работы ГИИ. При этом над панелью формируется зона нагретого воздуха, который поднимается вверх со смещением в сторону — к центру помещения. Структура течения неоднородна, основной поток формируется над центром панели (центр симметрии ГИИ) с максимальной скоростью 0,07 м/с.

Установлено, что при нагреве поверхности увеличиваются скорости движения масс воздуха, которое в основном направлено вверх со смещением вправо. Происходит это из-за роста температуры панели, что приводит к увеличению термогравитационных сил и, соответственно, скорости движения и определяет его направление. Следует отметить преобладание вертикальной компоненты скорости над горизонтальной. На рис. 3 приведены распределения скоростей воздуха по высоте над рабочей поверхностью в центральном сечении панели. Максимальная скорость воздуха составляет 0,072 м/с на высоте 0,09 м от указанной поверхности.

На рис. 4 представлены векторные поля над поверхностью панели в условиях смешанной конвекции (при работе системы воздухообмена), сформированные к 60-й минуте работы ГИИ. Эксперименты показали, что при нагреве поверхности панели

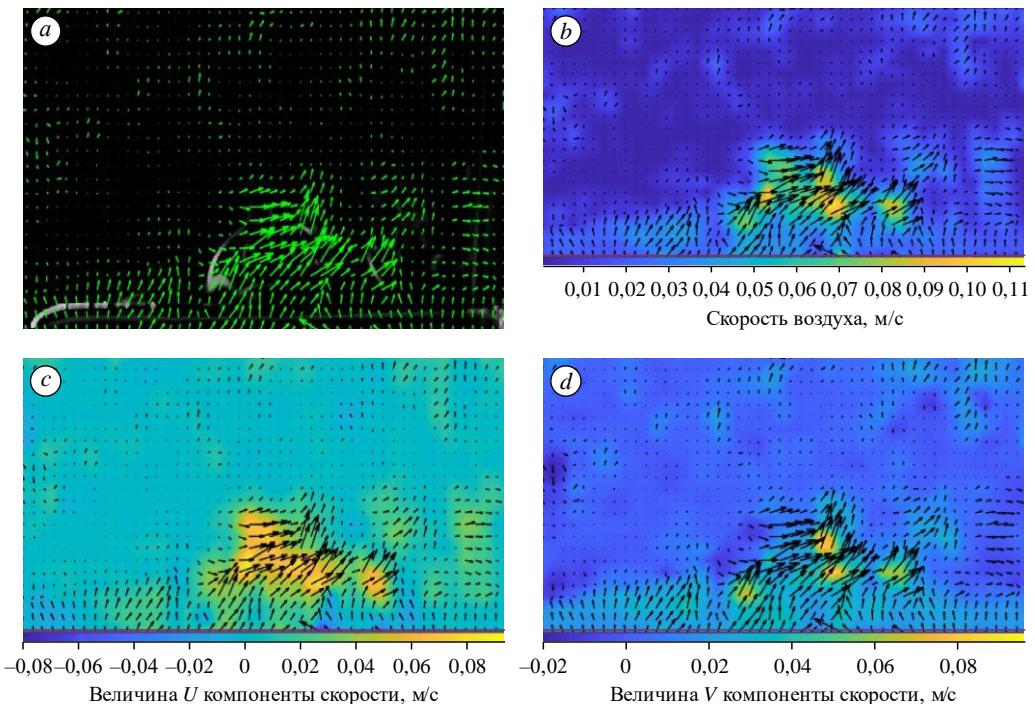


Рис. 2. Векторное поле движения воздуха (a), поле скоростей (b), а также компонент скорости по координатам x (c) и y (d) в условиях свободной конвекции.

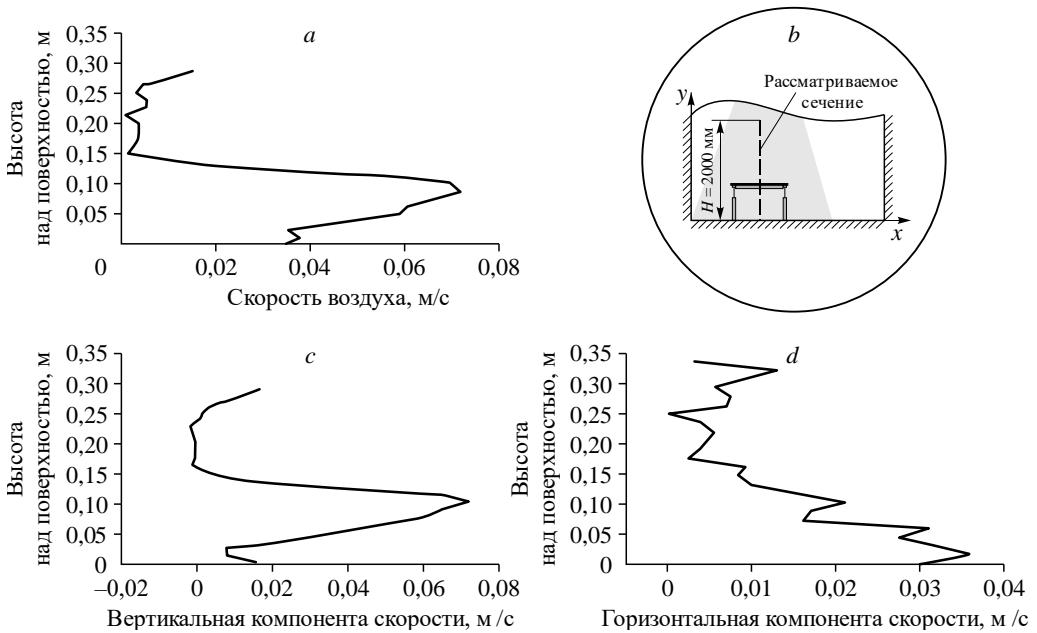


Рис. 3. Распределения скорости (*a*) по высоте над горизонтальной поверхностью панели в центральном сечении (*b*), а также компонент скорости воздуха по координатам *x* (*c*) и *y* (*d*) над горизонтальной панелью в зоне влияния газового инфракрасного излучателя в помещении без системы воздухообмена.

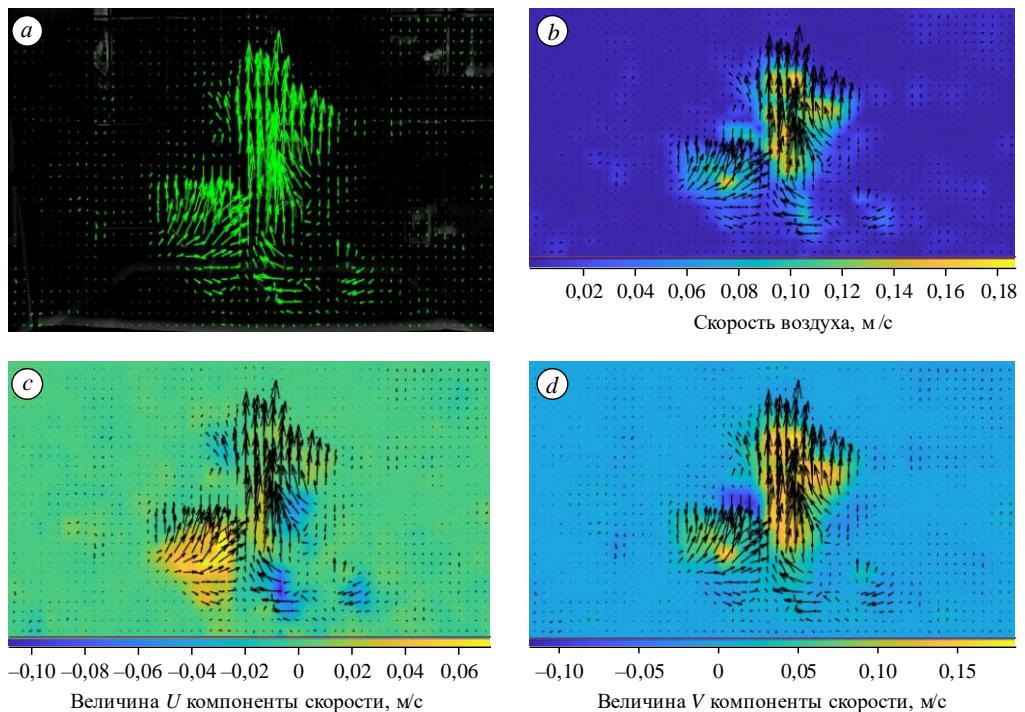


Рис. 4. Векторное поле движения воздуха (*a*), поле скоростей (*b*), а также компонент скорости по координатам *x* (*c*) и *y* (*d*) в условиях смешанной конвекции (при работе системы воздухообмена).

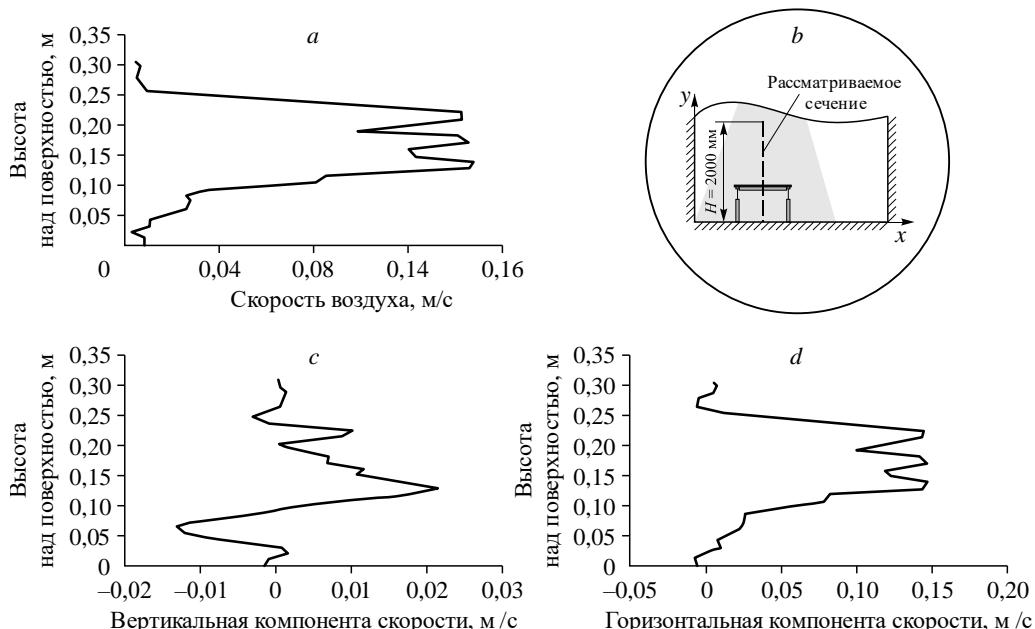


Рис. 5. Распределение профилей скорости (а) по высоте над горизонтальной поверхностью панели в центральном сечении (б), а также компонент скорости по координатам x (с) и y (д) воздуха над горизонтальной панелью в зоне влияния газового инфракрасного излучателя в помещении с системой воздухообмена.

увеличивается скорость движения масс воздуха, которое в основном направлено вверх. Происходит это из-за увеличения температуры поверхности панели, что приводит к росту термогравитационных сил и, соответственно, скорости движения и определяет его направление. Видно преобладание вертикальной компоненты скорости.

На рис. 5 приведены распределения скоростей воздуха по высоте над рабочей поверхностью в центральном сечении панели. Максимальная скорость воздуха, равная 0,148 м/с, достигается на высоте 0,14 м от поверхности панели.

Выводы

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать два основных вывода.

- Значения скоростей воздуха в локальной рабочей зоне в режимах естественной и смешанной конвекций существенно (в 2–3 раза) отличаются.
- Работа системы воздухообмена в условиях лучистого нагрева приводит к повышению в два раза (и незначительному изменению структуры полей) скорости воздуха в локальной рабочей зоне.

Список литературы

- Максимов В.И., Нагорнова Т.А., Куриленко Н.И., Волошко И.В.** Анализ преимуществ систем обеспечения теплового режима локальных рабочих зон на основе газовых инфракрасных излучателей по сравнению с традиционными конвекторными системами отопления // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 9. С. 128–141.
- Thielicke W., Sonntag R.** Particle image velocimetry for MATLAB: accuracy and enhanced algorithms in PIVlab // J. Open Research Software. 2021. Vol. 9, Iss. 1. Art. 12.

Статья поступила в редакцию 7 августа 2023 г.,
после переработки — 18 октября 2023 г.,
принята к публикации 21 ноября 2023 г.