

В. А. Товстоног, К. В. Чирин,
В. Г. Мерзликин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Приведено описание и характеристики экспериментальной установки для моделирования теплового воздействия при комбинированном радиационно-конвективном нагреве, характерном для условий работы ряда технических устройств, и при экстремальных ситуациях, сопровождающихся пожарами.

Условия радиационно-конвективного нагрева реализуются при работе многих технических устройств, а также в экстремальных ситуациях при природных и техногенных катастрофах и авариях, сопровождающихся горением больших масс горючих веществ. Режим радиационно-конвективного нагрева имеет место при входе летательных аппаратов в атмосферу [1], в топках котлов теплоэлектростанций [2] и камерах сгорания тепловых двигателей разного класса — ракетных [3], внутреннего сгорания [4], а также при массивованных пожарах — лесных, техногенных, при разливах топлив и других горючих веществ, авариях на нефте- и газопроводах [5, 6]. Поэтому проведению исследований высокоинтенсивного теплового воздействия на материалы, фрагменты и натурные конструкции уделяется большое внимание при разработке новой техники. Однако в лабораторных экспериментальных моделирующих установках чаще всего превалирует одна компонента нагрева — конвективная или радиационная, что ограничивает достоверность получаемой информации.

В связи со сказанным в Дмитровском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана моделирующая установка радиационно-конвективного нагрева с параметрами теплового воздействия, соответствующими широкой области условий, реализуемых в энерготехнологических устройствах, тепловых двигателях и при экстремальных ситуациях, сопровождающихся горением.

Схема установки приведена на рис. 1. Она содержит плоский блок радиационных нагревателей 1 с водоохлаждаемым отражательным экраном 2, газовую или бензиновую горелку 3, снабженную щелевым соплом 4, и систему топливоподачи 5. Нагреваемый (испытуемый) объект 6 устанавливается на водоохлаждаемой или теплоизолированной державке 7, имеющей возможность перемещения относительно блока нагревателей в двух направлениях — по нормали к нему и вдоль

плоскости установки нагревателей; горелка также может перемещаться в двух направлениях (см. рис. 1). Такая схема позволяет обеспечить оптимальные режимы работы установки и заданные условия нагрева объекта как потоком излучения, так и конвективным потоком продуктов сгорания.

Общий вид установки показан на рис. 2, а. Блок излучателей — трехсекционный; каждая секция содержит 19 трубчатых галогенных ламп накаливания КГ220-2000 (эти источники излучения наиболее мощные в своем классе по удельной плотности потока излучения на единицу длины источника — до 100 Вт/см, яркостная температура в номинальном режиме работы 3150 К) с плотной двухрядной компоновкой (рис. 2, б). Эффективная излучающая поверхность каждой секции составляет 200×130 мм, а общая эффективная излучающая поверхность радиационного нагревателя $\sim 200 \times 400$ мм. Плотность потока излучения может плавно регулироваться изменением питающего напряжения от минимальной до предельно достижимой величины (для используемых источников КГ220-2000 номинальное рабочее напряжение 220 В, а предельное 260 В).

Особого внимания заслуживает вопрос об организации работы радиационного нагревателя при вдуве потока горячего газа в зазор между ним и нагреваемым объектом. Газовый поток должен быть плоским, омывать всю нагреваемую поверхность объекта и оказывать минимальное воздействие на источники излучения. Так как при истечении струй из любых насадков имеет место расходимость газового потока, формирование плоского газового потока вдоль поверхности большого размера представляет определенные трудности. В рассматриваемой установке эта проблема решена благодаря использованию трехфакельной горелки с независимыми камерами сгорания и плоскими щелевыми насадками, каждый из которых формирует газовый поток вдоль одной из секций блока радиационных нагревателей. Плоский насадок изготовлен из жаропрочной стали и имеет выходное сечение 8×90 мм;

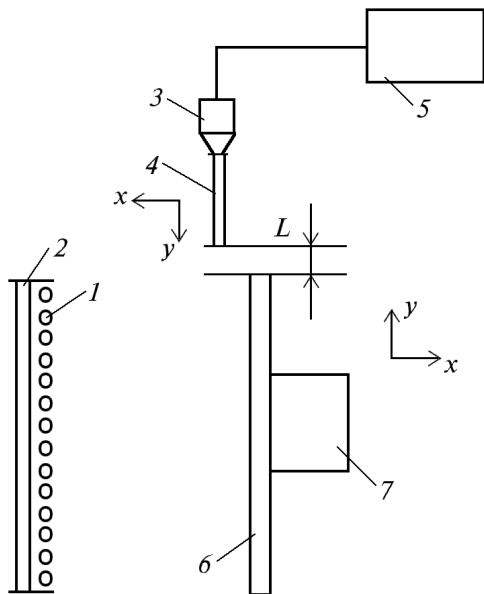


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

x, y — направления взаимного перемещения основных узлов установки



a



б

Рис. 2. Общий вид установки (а) и блока радиационных нагревателей (б)

расстояние от выходного сечения насадка до бокового торца нагреваемого объекта $L = 100 \dots 200$ мм. Поджиг горелки принудительный — факельный или от электрозапала, поэтому воздействие газового потока на объект испытаний может быть осуществлено в заданный момент времени, что позволяет реализовать широкий спектр программ теплового воздействия излучения и конвекции на испытуемый объект, соответствующих различным условиям экстремальных ситуаций [6]. Так например, при моделировании тепловых режимов конструкций, необходимо помнить, что при лесных пожарах воздействие излучения начинается за сотни метров от фронта пожара, а конвективное — только в непосредственной близости (5...10 м) от него.

Характеристики теплового воздействия установки определены путем независимых измерений радиационного и конвективного тепловых потоков и при их совместном воздействии. Плотность тепловых

потоков измерялась водоохлаждаемым датчиком полного потока (датчик Гордона), температура пламени — хромель-алюмелевой термопарой, вводимой в различные зоны пламени, с регистрацией сигналов на самописце. Эксперименты проводили при расстоянии нагреваемой поверхности от блока радиационных нагревателей 70 мм (для рассматриваемой конструкции блока излучателей изменение расстояния в пределах 50...100 мм слабо сказывается на величине воздействующего потока излучения). На рис. 3 приведен график зависимости плотности потока излучения от напряжения, которая в диапазоне $U = 110 \dots 220$ В аппроксимируется функцией

$$q_{\text{изл}} = -2,8 + 0,075U + 0,00037U^2, \quad \text{Вт/см}^2.$$

При номинальном рабочем напряжении $U = 220$ В плотность потока излучения $q_{\text{изл}} = 31,7$ Вт/см².

В исследованиях конвективного теплового воздействия использована газовая горелка на пропане. Измеренная температура продуктов сгорания у нагреваемой поверхности $T_{\text{г}} \approx 1130$ °С, а плотность конвективного теплового потока к “холодному” калориметру $q_{\text{конв}} = 10,6$ Вт/см².

При совместном воздействии продуктов сгорания и излучения блока радиационных нагревателей (рабочее напряжение питания $U = 220$ В) измеренная плотность суммарного теплового потока к калориметру $q_{\Sigma} = q_{\text{изл}} + q_{\text{конв}} = 41,3$ Вт/см². Таким образом, поглощение излучения в потоке продуктов сгорания составляет всего $0,9$ Вт/см², т.е. ~ 3 %.

Результаты экспериментов позволили оценить и коэффициент конвективного теплообмена. Измерения конвективного теплового потока проводились “холодным” калориметром, поэтому, принимая $T_{\text{к}} = 300$ К (температура охлаждающей воды ~ 15 °С), получим $\alpha = q_{\text{конв}} / (T_{\text{г}} - T_{\text{к}}) \approx 95$ Вт/(м²К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.

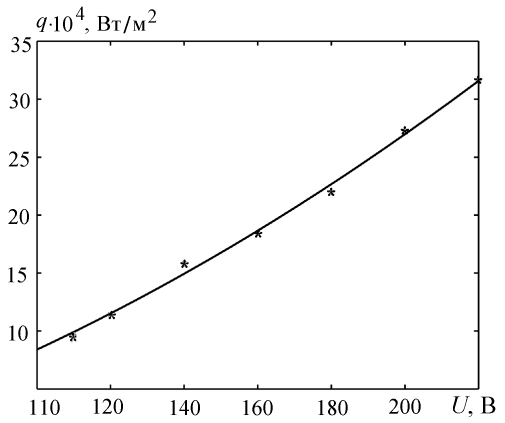


Рис. 3. График зависимости плотности радиационного теплового потока от рабочего напряжения:

* — экспериментальные значения

2. Б л о х А. Г. Теплообмен в топках паровых котлов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
3. Ш и ш к о в А. А., П а н и н С. Д., Р у м я н ц е в Б. В. Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива: Справочник. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
4. К а в т а р а д з е Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 592 с.
5. Д р а з д е й л Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1990. – 417 с.
6. Т о в с т о н о г А. В. Модели и моделирование тепловых нагрузок применительно к условиям экстремальных ситуаций // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. – 2000. – № 1. – С. 48–69.

Статья поступила в редакцию 16.01.2006

Валерий Алексеевич Товстоног родился в 1947 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1971 г. Канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Автор свыше 100 научных работ в области специальных вопросов теплообмена, тепловой защиты и тепловых испытаний конструкций.

V.A. Tovstonog (b. 1947) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1971. Ph. D. (Eng.), senior researcher. Author of more than 100 publications in the field of special issues of heat exchange, thermal protection and heat testing of constructions.

Константин Вячеславович Чирин родился в 1943 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1968 г. Главный энергетик Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 20 научных работ в области тепловых испытаний конструкций.

K.V. Chirin (b. 1943) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1968. Chief power engineering specialist of the Dmitrovsky Branch of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 20 publications in the field of heat testing of constructions.

Владимир Гаврилович Мерзликин родился в 1951 г., окончил Московский инженерно-физический институт в 1974 г. Канд. техн. наук, доцент МГТУ “МАМИ”. Автор более 70 научных работ в области теплообмена излучением и тепловой защиты.

V.G. Merzlikin (b. 1951) graduated from the Moscow Institute for Engineering and Physics in 1974. Ph. D. (Eng.), assoc. professor of the Moscow State Technical University “MAMI”.