

УДК 612.591+628.586

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

БЕЛИКОВ А. С.¹, *д.т.н., проф.*КАПЛЕНКО Г. Г.^{2*}, *к.т.н., доц.*РАГИМОВ С. Ю.³, *к.т.н., доц.*КИРНОС Е. А.⁴, *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 7563-4-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. С. Ефремова, 25, 49000, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina.grig@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9545-8414

³ Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевского 94, 61023, Харьков, Украина, тел +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

⁴ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. С. Ефремова, 25, 49000, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kat140379@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6410-5264);

Цель. Подбор и повышение измерительной возможности отечественных приборов, применяемых для экспресс-методов оценки отражающей способности поверхностей теплозащитных средств с учетом изменяемого угла падения излучения, состояния поверхности и ее поляризационной способности. **Методика.** Экспресс-метод неразрушающего контроля и оценки отражающей способности поверхностей теплозащитных средств с учетом изменяемого угла падения излучения, состояния поверхности и ее поляризационной способности. **Результаты.** Выявлены недостатки существующего экспресс-метода оценки отражательной способности материалов с учетом поляризации и проведено ее усовершенствование путем усовершенствования измерительной возможности ИК-излучателя и разработки установки, которая позволяет оценивать отражающую способность теплозащитных средств с учетом изменяющегося угла падения излучения. Также разработана специальная методика подбора оптимального согласования защитных средств от избыточного теплового излучения в зависимости от цели теплозащиты. Путем подбора компонентов композитного состава добиваются полного перекрытия спектра излучателя, для этого может быть использовано несколько компонентов композитного состава. Определены диапазоны спектрального отражения компонентов теплозащитных материалов для защиты от низко и высокотемпературных источников. **Научная новизна.** Усовершенствование приборов для измерения лучистой составляющей теплового потока, что позволило оценивать интенсивность излучения на рабочих местах не только от прямых источников, но и от трансформированных, вторичных источников. **Практическая значимость.** Предложенное приборное обеспечение, позволяющее проводить измерения интенсивности теплового потока от 10 Вт / м² и до 20000 Вт / м² при спектральной возможности измерений от 0,76 мкм до 10 мкм, разрешения 5 Вт / м² с погрешностью измерения не более 5%.

Ключевые слова: интенсивность теплового излучения; неразрушающий контроль; измерение отражательной способности; инфракрасный светодиод; поляризационная способность

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДБИВНОЇ ЗДАТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ЕКСПРЕС- МЕТОДОМ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЕФЕКТИВНОГО ТЕПЛОЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ

БЕЛІКОВ А. С.¹, *д.т.н., проф.*КАПЛЕНКО Г. Г.^{2*}, *к.т.н., доц.*РАГИМОВ С. Ю.^{3*}, *к.т.н., доц.*КІРНОС К. А.^{4*}, *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 7563-4-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina.grig@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9545-8414

^{3*} Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевського 94, 61023, Харків, Україна, тел +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

^{4*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kat140379@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6410-5264

Мета. Підбір та підвищення виміральної можливості вітчизняних приладів, застосовуваних для експрес-методів оцінки відбивної здатності оптичних поверхонь теплозахисних засобів з урахуванням змінного кута падіння випромінювання, стану поверхні і її поляризаційної здатності. **Методика.** Експрес-метод неруйнівного контролю і оцінки відбивної здатності оптичних поверхонь теплозахисних засобів з урахуванням змінного кута падіння випромінювання, стану поверхні і її поляризаційної здатності. **Результати.** Виявлено недоліки існуючого експрес-методу оцінки відбивної здатності матеріалів з урахуванням поляризації і проведено її удосконалення шляхом удосконалення виміральної можливості ІЧ-випромінювача і розробки установки, яка дозволяє оцінювати відображає здатність теплозахисних засобів з урахуванням мінливого кута падіння випромінювання. Також розроблена спеціальна методика підбору оптимального узгодження захисних коштів від реалізації надлишкового теплового випромінювання в залежності від мети теплозахисту. Шляхом підбору компонентів композитного складу домагаються повного перекриття спектру випромінювача, для цього може бути використано кілька компонентів композитного складу. Визначено діапазони спектрального відображення компонентів теплозахисних матеріалів для захисту від низько і високотемпературних джерел. **Наукова новизна.** Удосконалення приладів для вимірювання променистої складової теплового потоку, що дозволило оцінювати інтенсивність випромінювання на робочих місцях не тільки від прямих джерел, а й від трансформованих, вторинних джерел. **Практична значимість.** Запропоноване приладове забезпечення, що дозволяє проводити виміри інтенсивності теплового потоку від 10 Вт/м² і до 20000 Вт/м² при спектральній можливості вимірювань від 0,76 мкм до 10 мкм, роздільної здатності 5 Вт/м² з похибкою вимірювання не більше 5%.

Ключові слова: інтенсивність теплового випромінювання; неруйнівний контроль; вимір відбивної здатності; інфрачервоний світло діод; поляризаційна здатність

INVESTIGATION OF REFLECTIVE CAPACITY OF MATERIALS WITH EXPRESS METHOD FOR DEVELOPMENT OF EFFECTIVE THERMAL PROTECTIVE COATINGS

BELIKOV A. S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KAPLENKO G. G.^{2*}, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*,
RAHIMOV S. Yu.^{3*}, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*
KIRNOS K. A.^{4*}, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 7563-4-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Life Safety, Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, S. Yefremov st., Dnipro, 49000, Ukraine, phone. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina.grig@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9545-8414

^{3*} Department of Organization and technical support rescue operations National University of Civil Defence of Ukraine, st. Chernyshevsky 94, Kharkiv, 61023, Ukraine, phone +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

^{4*} Department of Life Safety, Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, S. Yefremov st., Dnipro, 49000, Ukraine, phone. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kat140379@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6410-5264

Purpose. Selection and enhancement of the measurement capability of domestic instruments used for express methods for estimating the reflectivity of surfaces of heat-shielding means taking into account the variable angle of incidence of radiation, the state of the surface and its polarization ability. **Method.** Express method of non-destructive testing and assessment of the reflectivity of the surfaces of heat-shielding means taking into account the variable angle of incidence of radiation, the state of the surface and its polarization ability. **Results.** The shortcomings of the existing express method for estimating the reflectivity of materials with allowance for polarization are revealed and its improvement is improved by improving the measurement capability of the IR emitter and developing an apparatus that allows to evaluate the reflectivity of thermal protection means taking into account the varying angle of incidence of radiation. A special technique has also been developed for selecting the optimal matching of protective equipment against excessive heat radiation, depending on the purpose of thermal protection. By selecting the components of the composite composition, the spectrum of the radiator is completely overlapped, several components of the composite composition can be used for this. The ranges of spectral reflection of components of heat-shielding materials for protection against low and high-temperature sources are determined. **Scientific novelty.** Improvement of instruments for measuring the radiant component of the heat flux, which made it possible to estimate the intensity of radiation at workplaces not only from direct sources, but also from transformed, secondary sources. **Practical meaningfulness.** The proposed instrumentation allows measurements of the heat flux intensity from 10 W / m² and up to 20,000 W / m² with a spectral capability of measuring from 0.76 μm to 10 μm, resolution of 5 W / m² with a measurement error of not more than 5%.

Keywords: intensity of thermal radiation; non-destructive testing; measurement of reflectivity; infrared LED; polarization ability

Постановка проблемы

Влиянию высоких температур подвергаются работники предприятий многих отраслей: строительной (производство кирпича, стекла, полимеров, гипса, извести и т.д.), металлургии, машиностроения, теплоэнергетики и др.

Диапазон изменения интенсивности теплового излучения на многих рабочих местах составляет от 50 до 20000 Вт/м² при норме интегрального допустимого облучения в 140 Вт/м² [1, 3-6, 8]. Например, в теплый период года интенсивность теплового излучения в турбинных цехах ТЭС находится на уровне 206-670 Вт/м², при тушении пожаров пожарные подвержены влиянию еще более высоких тепловых излучений (>1400 Вт/м²). При таких условиях могут развиваться невроты, вегетативные расстройства, заболевания органов дыхания, нарушение пищеварения, кровообращения и др. изменения состояния здоровья.

Анализ последних исследований и публикаций

Для защиты от тепловых потоков применяют защитные экраны, на которые нанесены теплозащитные краски, покрытия и др. материалы [7].

Широкий диапазон тепловых излучений вносит существенную ошибку в измерения теплового потока традиционными методами существующими приборами отечественного и зарубежного производства [2].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Высокую эффективность средств теплозащиты возможно обеспечить только тогда, когда учитываются спектральное распределение энергии излучения, оптические свойства теплозащитных материалов и выбор вида и конструкции средств теплозащиты. Степень этой защиты будет зависеть от таких свойств материалов, как отражающая и поглощающая способность поверхности, степень черноты, теплопроводность и электропроводность поверхностного слоя.

Формулировка цели статьи

Усовершенствование приемника ИК-излучения для экспресс-метода оценки отражающей способности поверхностей теплозащитных средств с учетом изменяемого угла падения излучения, состояния поверхности и ее поляризационной способности.

Изложение основного материала

Для неразрушающего контроля отражающей и поглощающей способности теплозащитных

покрытий рассмотрим прибор, общий вид которого представлен на рис. 1.

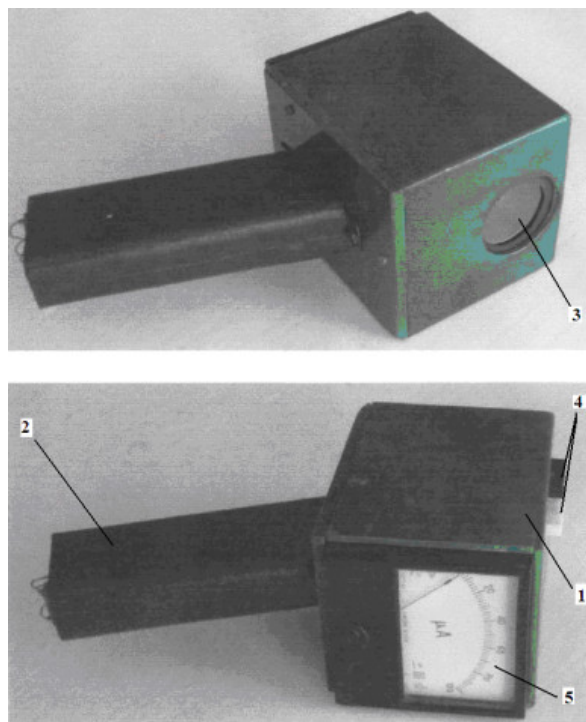


Рис. 1. Прибор для определения энергосберегающих свойств строительных материалов: 1 – корпус; 2 – ручка прибора; 3 – приемник ИК-излучения; 4 – переключатель прибора на измерение; 5 – миллиамперметр

/ Device for determining the energy-saving properties of building materials: 1 - housing; 2 - the handle of the device; 3 - IR radiation;

4 - the device switch for measurement; 5 - milliammeter

В качестве ИК-излучателя применяется инфракрасный светодиод, который работает в импульсном режиме при скважности 3 от источника питания.

Нами были приняты следующие входные данные: частота питания – 10 кГц, амплитуда входного прямоугольного импульса $I_{вх}=2,35$ В при прямом токе импульса $I_{пр}=100$ мА, номинальная мощность излучения 0,6 мВт при максимальной мощности излучения светодиода 1,5 мВт. Номинальная мощность 0,6 мВт выбрана для устойчивой работы прибора и стабильности его характеристик.

При принятых данных ток ключевого каскада в импульсе при излучаемой мощности 0,6 мВт составит

$$I_{пр}=0,6:1,5*100=40\text{ мА}=4*10^{-3}\text{ А}$$

Максимальная рассеивающая мощность в импульсе

$$P_{им}=40*10^{-3}*(2,35+1*0,04)=0,96\text{ мВт}$$

Номинал ограничивающего сопротивления

$$R=I_{им} - I_{пр} - I_{нас} / I_{пр}=(4,8-2,35-2):0,04=11,25\text{ Ом}$$

Техническая характеристика: контролируемая поверхность – 225 см²; пределы измерения – 0-100%; погрешность измерения 5-10%; время замера 2-5 сек; напряжение питания – 6-12 В; потребляемая мощность, не более – 0,6 Вт; вес – 1,2 кг.

Принимаем ближайшее стандартное значение сопротивления 12 Ом при этом, предельно допустимый прямой ток

$$I_{пр.макс} = I_{ит} - I_{пр} - I_{нас} / R = (4,8 - 2,35 - 2) : 12 = 38 \text{ мА}$$

ИК-излучатель питается прямоугольными импульсами частотой 10 кГц со скважностью 3 от генератора прямоугольных импульсов, которые поступают на усилитель тока.

Длина волны излучателя выбрана в пределах 0,78-1,2 мкм, а средняя мощность источника ИК-излучения – 0,6 мВт. Генератор прямоугольных импульсов должен обеспечивает питание излучателя напряжением 2,35 В, силой тока 34-45 мА.

Сигнал с фотодиода после предварительного усилителя составляет 10-20 мВ, а коэффициент усиления, обеспечиваемый усилителем – 2000-3000, для полного отклонения стрелочного прибора.

Напряжение питания электронных схем принято равным 4,8 В на основании оптимального и устойчивого режима работы электронных схем. Стабилизатор напряжения должен обеспечивать выходное напряжение 4,8 В – при входном от 5 до 12 В.

На основании разработанных требований к электрическим характеристикам отдельных элементных блоков были подобраны типовые схемные решения и изготовлены необходимые схемы.

В отражательной системе применен неглубокий параболический отражатель, у которого плоский угол охвата $2\Phi_{\max} = 160^\circ$.

Зеркало отражателя пластмассовое с отражающим лицевым зеркальным слоем из специального сорта алюминия, нанесенного испарением в вакууме. Слой алюминия достаточно стоек и не подвержен влиянию атмосферных условий.

Коэффициент отражения алюминия для спектрального диапазона $\lambda = 0,78-1,2$ мкм составляет 90-93%.

Положительным качеством зеркальных объективов является возможность работы в широком спектральном диапазоне, а также отсутствие хроматической аберрации, т.е. они не вносят изменения, особенно для инфракрасных лучей, в спектральный состав отраженного ими потока.

Учитывая назначение приборов – измерение отражательной способности теплозащитных и других материалов, устанавливаем источник ИК-излучения – светодиод в фокальной плоскости фотометрической головки, а зеркало, рассеиватель и приемник излучения – фотодиод – в тыльной части.

Как показали проведенные исследования, данный экспресс-метод позволяет получить результаты отражательной способности материалов с учетом

поляризации с высокой сходимостью только при падении излучения по нормали на исследуемую поверхность. Для повышения измерительной возможности ИК-излучателя была разработана установка, которая состоит из круглой обоймы 2, в которую вставляются диски с нанесенными на них исследуемыми материалами (краски, покрытия) (рис. 2). Обойма с дисками имеет возможность вращения во взаимно-перпендикулярных направлениях, как вокруг вертикальной оси, так и вокруг горизонтальной. Оптическая схема приемника 3 и излучателя 2 разделены в самостоятельные блоки, которые независимо могут перемещаться по направляющим 5, которые в свою очередь могут перемещаться по дуге на 360° (рис. 2). Принципиальная схема экспериментальной установки с усовершенствованным приемником ИК-излучения приведена на рис. 3.

С целью изменения работы генератора импульсов, он синхронизируется цепью со всеми блоками приемника ИК-излучения. Кроме того, для расширения возможностей предусмотрено менять в ИК-излучателе фильтры с различными спектральными характеристиками. На диски-основу наносятся различные составы, которые исследуются.

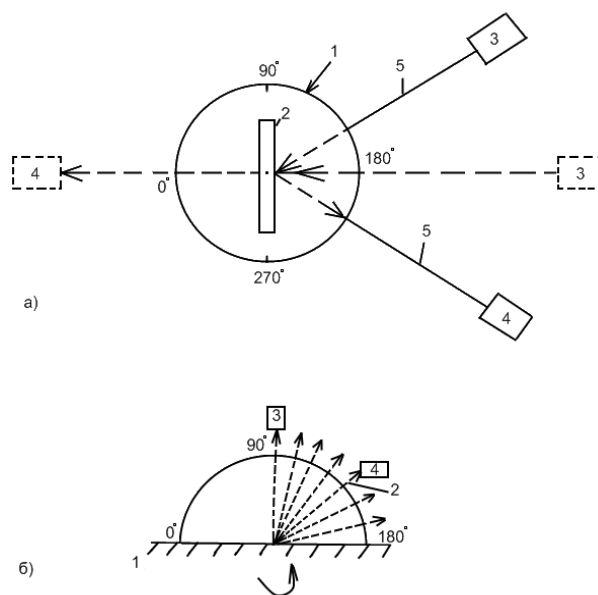


Рис. 2. Функциональная схема методики исследований на экспериментальной установке:
1 – поворотная рама, 2 – поворотная рамка с исследуемым образцом, 3 – ИК-излучатель, 4 – ИК-приемник, 5 – направляющие /

Functional scheme of the research methodology on the experimental setup:

1 – rotary frame, 2 – rotary frame with the sample being studied, 3 – IR emitter, 4 – IR receiver, 5 – guides

Методика подбора состава теплозащитных материалов и покрытий заключается в согласовании спектров излучения от источника теплового излучения и спектров поглощения (отражения) в зависимости от цели теплозащиты. Однако спектр

источников излучения чаще всего бывает общим и имеет четко выраженный максимум энергии излучения в каком-нибудь спектральном диапазоне. Этот максимум в зависимости от температуры источника излучения по закону Вина может смещаться или в коротковолновую, или в длинноволновую часть спектра. В отличие от источников излучения, спектры поглощения и отражения теплозащитных материалов и покрытий имеют очень сложную и прерывистую форму в виде провалов и максимумов. Поэтому разработана специальная методика подбора оптимального согласования защитных средств от избыточного теплового излучения, суть которой заключается в том, что на спектральную кривую излучательной способности источника излучения накладывается спектр поглощения (отражения) теплозащитных материалов. Путем подбора компонентов композитного состава добиваются полного перекрытия спектра излучателя, для этого может быть использовано несколько компонентов композитного состава. Второй этап заключается в подборе процентного содержания составляющих компонентов теплозащитного состава в зависимости от общей энергии источника излучения.

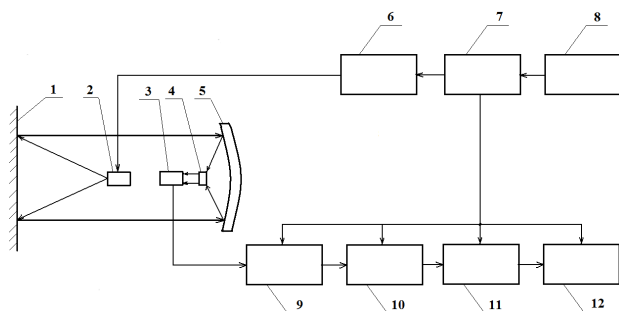


Рис. 3. Принципиальная схема измерительной части для исследования отражательной способности материалов при работе на стенде:

1 – исследуемая поверхность, 2 – излучатель ИК диапазона, 3 – приемник ИК-излучения, 4 – конденсоры (фильтр), 5 – зеркальная оптическая система, 6 – усилитель мощности питания ИК-излучателя, 7 – генератор импульсов, 8 – источник питания, 9 – усилитель сигнала с ИК-приемника, 10 – предварительный усилитель, 11 – регистрирующий вторичный прибор, 12 – источник питания

/ Schematic diagram of the measuring part for the study of the reflectivity of materials during work on the stand: 1 - the investigated surface, 2 - the radiator of the IR band, 3 - the infrared receiver, 4 - the condensers (filter), 5 - the mirror optical system, 6 - the power amplifier of the infrared emitter power, 7 - the pulse generator, 8 - the power source, 9 - signal amplifier with IR receiver, 10 - pre-amplifier, 11 - recording secondary device, 12 - power supply

Кроме того, некоторые теплозащитные материалы могут поляризовать падающее излучение и имеют искаженное объемно-пространственное отражение, отличающееся от Ламбертовского распределения. Из нейтрального материала изготавливаются плоские диски, на которые наносятся исследуемые или

существующие теплозащитные составы. При изменении углов падения и отражения, вращающегося диска с рамкой мы получаем полную объемную пространственную картину отражающей способности теплозащитных материалов в ИК-диапазоне.

При действии высокотемпературного источника в состав теплозащитного покрытия необходимо ввести компоненты материалов, имеющих максимум спектрального отражения в диапазоне 1,8-4,0 мкм. При защите от теплового излучения низкотемпературных источников необходимо добавлять компоненты с соответствующими оптическими характеристиками, перекрывающими диапазон ИК от 4 до 9 мкм.

Все это позволяет еще на стадии проектирования подбирать теплозащитные и отражательные материалы, покрытия, обмазки и др. в зависимости от климатических, техногенных и других критериев.

В качестве излучателей световых импульсов, на стенде использовались инфракрасные светодиоды с длиной волны излучения от 0,76 мкм до 2,5 мкм. Для расширения спектрального состава в направлении длинноволновой части также использовались в качестве излучателя галогеновые лампы с кварцевыми колбами, которые пропускают ИК-излучение до 5-6 мкм, а при рабочем режиме, колба из кварцевого стекла, имеющие степень черноты ε до 0,95, и сама дополнительно излучает ИК-излучение с максимум длины волны 7-10 мкм. На выходное окно блока излучателя надеваются соответственно оптические и дисперсные светофильтры. В установке используют более мощные излучатели, т.к. на ней можно также определять не только отражающую способность ИК-излучения под разными углами, а также способность материалов на их пропускание. В рамке 2 (рис. 2) закрепляют не только диски с нанесенными теплозащитными составами, а также и сами теплозащитные материалы для определения их «прозрачности» для ИК-излучения. Передвигая излучатели и приемник по направляющим 5 (рис. 2) можно увеличить интенсивность потока излучения, а также площадь «светового» пятна на исследуемом материале.

Стенд имеет возможность установки шаговых электроприводов для вращения рамки с образцами во взаимно перпендикулярных осях вращения и передвижения источника и приемника по направляющим.

Выводы

В результате исследований нами усовершенствован приемник ИК-излучения для экспресс-метода оценки отражательной и пропускающей способности поверхностей теплозащитных средств с учетом изменяемого угла падения излучения, состояния поверхности и ее поляризационной способности, который позволяет разработать эффективные теплозащитные средства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аметистов, Е. В. Основы теории теплообмена / Е. В. Аметистов. – М.: МЭИ, 2011. – 242 с.
2. Беликов А. С. Контроль высокотемпературного излучения на рабочих местах / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов, А. С. Чаплыгин // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 80: Стародубовские чтения – 2015. – С. 49-54.
3. Беликов А. С. Решение задач по защите работников спецподразделений в условиях экстремальных ситуаций по тепловому воздействию / А. С. Беликов, Э. Е. Стрежекуров, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов, С. П. Кордунов // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – 2015. – Вып. 82. – С. 25-31
4. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 2005. – 934 с.
5. Охрана труда в строительстве: учебник / [Беликов А. С., Сафонов В. В., Нажа П. Н. и др.]; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев: Основа, 2014. – 592 с.
6. Рагимов С.Ю. Исследование термодинамической напряженности на рабочих местах с высоким тепловыделением / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, Г.Г. Капленко, А.М. Кравчук // Коммунальное хозяйство городов: сб. научн. тр. – Харьков, 2011. – Вип. 99. – С.3-8.
7. Рагимов С.Ю. Основные требования, предъявляемые к средствам защиты от инфракрасного излучения на рабочих местах / А.С. Беликов, С.Ю. Рагимов, Г.Г. Капленко // Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства: Матеріали Третьої Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, 2010. – Вип.91. – С. 262-267.
8. Стрежекуров, Э. Е. Особенности исследования терморadiационной напряженности в горячих цехах промышленности / Э. Е. Стрежекуров // Системные технологии. – №4. – 2009. – С. 15-18.

REFERENCES

1. Ametistov E.V. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the theory of heat transfer]. Moscow: MEI, 2011, 242 p.
2. Belikov A.S., Ragimov S.Yu., Shalomov V.A. and Chaplygin A.S. *Kontrol vyisokotemperaturnogo izlucheniya na rabochih mestah* [Control of high-temperature radiation jobs]. *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA–Dnipropetrovsk, 2015, no. 80, pp. 49 - 54 (in Russian).
3. Belikov A.S., Strezhekurov E.E., Shalomov V.A., Ragimov S.Yu. and Kordunov S.P. *Resheniye zadach po zaschite rabotnikov spetspodrazdeleniy v usloviyakh ekstremalnykh situatsiy po teplovomu vozdeystviyu* [Decision on the protection of workers' special forces tasks in extreme situations on the thermal effects] *Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroeniye* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA–Dnipropetrovsk, 2015, no. 82, pp. 25 - 31 (in Russian).
4. Zigel R. and Khaehll Dzh. *Teploobmen izlucheniym* [Radiation heat transfer]. Moscow: Mir, 2005, 934 p. (in Russian).
5. Belikov A.S., Safonov V.V., Nazha P.N., Chalyy V. G., Shlykov N.Yu., Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Okhrana truda v stroitelstve* [A labour protection is in building]. Kyiv: Osнова, 2014. 592 p. (in Russian).
6. Belikov A.S., Ragimov S.Yu. Kaplenko G.G. and Kravchuk A.M. *Issledovaniye termodinamicheskoy napriazhennosti na rabochikh mestakh s vysokim teplovydeleniyem* [Study of thermodynamic tension in workplaces with high heat release]. *Kommunal'noe khozyaystvo gorodov: sb. nauchn. tr.* [Municipal economy of cities] Kharkov, 2011, vol. 99, pp. 3-8. (in Russian).
7. Belikov A.S., Ragimov S.Yu., and Kaplenko G.G. *Osnovnyye trebovaniya, prediavljaemye k sredstvam zaschity ot infrakrasnogo izlucheniya na rabochikh mestakh* [The basic requirements for the means of protection from infrared radiation in the workplace]. *Bezpeka zhyttiediialnosti liudyny yak umova staloho rozvytku suchasnoho suspilstva: Materialy Tretoi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii.* [Safety of human life as a condition for the sustainable development of modern society: Materials of the Third International Scientific and Practical Conference]. Kharkiv, 2010, vol. 91, pp. 262-267. (in Russian).
8. Strezhekurov E.E. *Osobennosti issledovaniya termoradiatsionnoy napriazhennosti v goriachikh tsekhakh promyshlennosti* [Features of the study of thermoradiation tension in hot shops of industry]. *Sistemnye tekhnologii* [System technologies]. 2009, no. 4, pp. 15-18. (in Russian).