

**Беликов Анатолий Серафимович**

*доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности  
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры», г. Днепропетровск*

**Рагимов Сергей Юсупович**

*кандидат технических наук, доцент кафедры организации и технического обеспечения авиационно-спасательных работ*

*Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков*

**Шаломов Владимир Анатольевич**

*кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности  
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры», г. Днепропетровск*

**Чаплыгин Алексей Сергеевич**

*кандидат технических наук, начальник 31-й государственной пожарно-спасательной части Коминтерновского районного отдела Главного управления ГСЧС Украины в Харьковской области*

**Belikov A.S.**

*doctor of Technical Sciences, Professor SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), Head of department Life Safety, Dnipropetrovsk*

**Rahimov S. Yu.**

*candidate of Technical Sciences, National university of civil defence of Ukraine, associate professor of department of organization and technical providing wrecking, Kharkiv*

**Shalomov V.A.**

*candidate of Technical Sciences, associate professor, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), associate professor of department Life Safety, Dnipropetrovsk*

**Chaplyigin A.S.**

*candidate of Technical Sciences, Kominternovskiy district department of Main administration of GSCHS of Ukraine in the Kharkiv area, chief of 31th state fire-rescue part*

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ С ВЫСОКИМ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕМ**

## **METHOD OF RESEARCHES OF THERMODYNAMICS TENSION ON WORKPLACES WITH HIGH THERMAL SELECTION**

**Аннотация:** В статье приведена установка для светового моделирования, состоящая из световой камеры; полупрозрачного экрана; матрицы ультраярких светодиодов. В результате теоретических исследований разработана экспериментальная установка для физического моделирования термической напряженности на рабочих местах с интенсивным тепловыделением. На основании физического моделирования установлены закономерности изменения терморadiационной напряженности в зависимости от пространственного расположения источников теплового излучения.

**Ключевые слова:** тепловой поток, датчик, избыточное теплоизлучение, температура нагрева, диапазон измерений.

**Annotation:** A fluidizer light design, consisting of light chamber, is resulted in the article; semilucent screen; matrices of ultra of bright light-emitting diodes. As a result of theoretical researches an experimental fluidizer is developed physical design of thermal tension on workplaces with intensive teplovydeleniem. On the basis of physical design conformities to law of change thermo of radiation tension are set depending on the spatial location of sources of caloradiance.

**Key words:** heat flow, sensor, excessive heat radiation, heating temperature, measurement range.

Для оценки санитарно-гигиенических условий на рабочих местах горячих производств необходимо производить замеры теплового излучения от источников излучения и на их основе определять облученность в заданных точках с учетом режима работы.

**Материалы и методы исследования.** Проведение таких исследований в условиях действующих предприятий трудоемкий и небезопасный процесс. При значительной интенсивности излучения и проведении замеров на близком расстоянии исследователь и приборы подвергаются значительным тепловым нагрузкам, снижается точность измерения, а, следовательно, и достоверность данных. Поэтому очень часто вместо экспериментальных методов применяют расчетные. При применении расчетных методов, возрастает величина ошибки и снижается достоверность данных, т.к. значения части параметров (температура внутреннего пространства печи, степень черноты источника и т.д.) приходится получать из таблиц. Эти средние величины являются ориентировочными и не могут учитывать всех факторов любого процесса. Кроме того, приходится использовать графики — все это делает расчеты трудоемкими и неэффективными для практики. Поэтому, для разработки паспорта источника излучения необходимо было предложить новую более приемлемую методику исследования тепловой напряженности на рабочих местах. Новый метод должен объединить экспериментальный и расчетные методы, сделав его безопасным не снижая точности измерений. Идея метода заключается в том, что необходимо создать прибор который с базовой точки, расположенной на любом безопасном расстоянии от источника, позволяет провести с достаточной точностью измерение интенсивности теплового облучения и угла, под которым будет виден источник излучения. По полученным экспериментальным данным с помощью номограммы строится с использованием ЭВМ паспорт источника теплового излучения.

**Результаты и их обсуждение.** За основу определения интенсивности теплового излучения принято выражение [1, 2]:

$$E_0 = L \int_{\Omega} \cos \alpha d\Omega, \quad (1)$$

где  $E_0$  — энергетическая освещенность; Вт/м<sup>2</sup>;  $L$  — яркость излучения источника; Вт/(м<sup>2</sup>•стер);  $\alpha$  — угол под которым облучается объект относительно нормали; рад.;  $\Omega$  — телесный угол, под которым виден источник излучения.

Таким образом, при оценке термодинамической напряженности на рабочих местах может быть применен метод физического моделирования, термического

исследования энергетической освещенности рабочего пространства.

Проведенный анализ исследований показал необходимость обоснования и разработки экспериментальной установки для исследования терморadiационной напряженности на рабочих местах.

Проведенный нами анализ показал, что предложенные рядом авторов способы определения интенсивности теплового излучения по номограммам и формулам дают большую погрешность [3–5]. Значительная погрешность обусловлена принятием целого ряда допущений многих переменных параметров, тесно связанных между собой. К ним относятся температура внутреннего пространства печи, размер окон в печах и колодцах и т.д. При этом возникает необходимость определять интенсивность теплового облучения на расстояниях 1–2 м и т.д. В то же время, для решения задач по теплозащите рабочих мест необходимы фактические данные измерения терморadiационной напряженности на всех рабочих местах. Проводить такие исследования, например, у открытого окна термической печи на расстоянии 1,5–2 м явно небезопасно и, главное снижается достоверность полученных данных за счет уменьшения производительности замеров в экстремальных условиях труда. На рис. 1–2 приведена диаграмма облучения рабочих мест термических процессов: а — контроль температуры при плавке базальта; б — при загрузке стекловаренной печи; в-обжиг извести; г — каменное литье в интегральном диапазоне по дуге 360° через 45°.

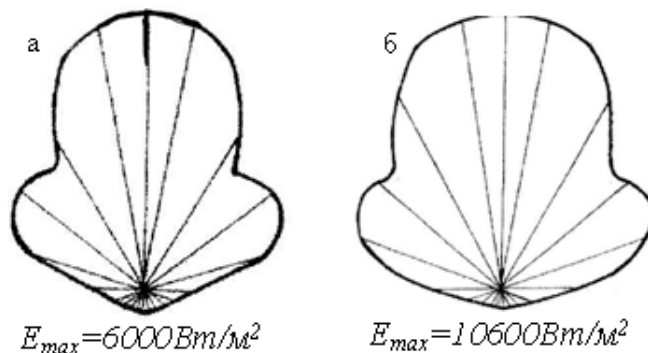


Рис. 1. Диаграммы теплового облучения на рабочих местах плавки базальта и загрузки стекловарочной печи

На рис. 3 приведены расчетные и экспериментальные данные зонального распределения энергии термических печей.

При этом для определения интенсивности облучения теплового потока необходимо производить значительное количество промежуточных расчетов либо использовать несколько графиков или номограмм, что делает эти расчеты трудоемкими и мало удобными для практического использования.

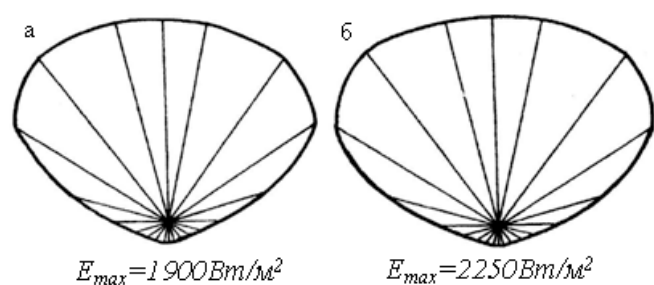


Рис. 2. Диаграммы термического облучения на рабочих местах обжига извести и каменного литья

Нами сделана попытка обобщить результаты проведенных в этом направлении исследований, улучшить условия труда, значительно уменьшить число переменных и более эффективно использовать при проведении замеров существующие приборы [2, 4].

На основании проведенных нами теоретических исследований терморadiационной напряженности на рабочих местах было установлено, что с большой точностью можно определить расстояние до источника теплоизлучения от точки замера, угол под которым виден источник теплового излучения, при этом, точка замера может располагаться на безопасном для исследователя расстоянии, что и было положено нами в основу при разработке экспериментальной установки для исследования терморadiационной напряженности на рабочих местах.

Нами было принято решение использовать световое моделирование при оценке термической облученности на рабочих местах. Т.к. оптическая и энергетическая освещенность изменяются по одним законам, то в качестве источника теплового излучения использовался равномерно освещенный полупрозрачный экран. В качестве модели элементарной площадки тела человека использовалась приемная фотоголовка с датчиком теплового потока ИТТФ АН Украины ДТН 02 — ДТН 03. В основном исследовалась зависимость местного углового коэффициента облучения и максимальных тепловых нагрузок, а также переход от косвенных измерений к прямым. Это позволяет прогнозировать условия труда по тепловому фактору на рабочих местах. При этом метод светового моделирования позволяет смоделировать и отобразить полученные результаты исследования для источников со сложными формами излучающей поверхности, в виде максимально приближенных к реальным возможных полей облучения с целью обеспечения проектантов на стадии проектирования технологических агрегатов и технологий универсальным методическим пособием [3].

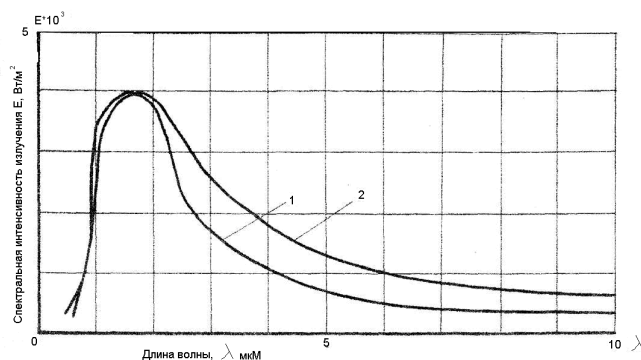


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные данные зонального распределения энергии излучения плавильных печей базальта при открытых окнах:

1 — расчетные данные; 2 — экспериментальные данные.

Величина отношения угла зрения (видимости источника излучения)  $\varphi_1/\varphi_2$  имеет физический смысл — отношения плотности теплового потока излучения в данной и расчетной точке пространства, что позволяет решать поставленную задачу прогнозирования тепловой облученности на поверхности объекта облучения и обладает рядом преимуществ при проведении измерений.

Экспериментальная задача определения относительного теплового коэффициента облучения по физической дуге совпадает с физической задачей моделирования, для которой определяется отношение величин в произвольных точках пространства с последующим переходом к искомым единицам с помощью реперной точки. В нашем случае репером может служить точка освещенности излучающего экрана и освещенность объекта.

Измерения проводились на разработанной нами установке светового моделирования (рис.4). Измерения можно разбить на следующие этапы:

- подготовка установки к исследованиям;
- моделирование явления подобия;
- проведения измерений и перевод измеренных величин в графические изображения.

При этом необходимо учитывать, что световое моделирование на разработанной установке включает в себя две экспериментальные задачи: воспроизведение явления, подобного натуре, и проведение измерений. Каждая из этих задач формирует свои погрешности, которые в сумме дают погрешность метода.

Анализ погрешностей позволяет выявить и учесть систематические составляющие, связанные с подобием световой модели и угловой ориентацией датчика, — приемной головки фоновой засветки. Средняя квадратичная погрешность, обусловленная этими источниками составляет не более 6–8% для всего пространства, а для угловой ориентации, не превышающей  $72^\circ$ , для угловой ориентации в интервале  $72^\circ$ – $86^\circ$  не более 19%. Измерения в интервале углов  $86^\circ$ – $90^\circ$  теряют смысл из-за высокой погрешности.

Определение  $\varphi_1/\varphi_2$  с физической точки зрения можно корректно осуществлять только для равномерно светящегося экрана модели, т.к.  $\varphi$  определяется для изотермических теплообменных полей. Однако результаты измерения можно применять с достаточной точностью для инженерных расчетов на довольно широкий класс неравномерно нагретых поверхностей.

Этот класс охватывает поверхности, допускающие деление на примерно равные участки, разность температур точек, которых не превышает  $20^\circ\text{C}$ ; средние температуры соседних участков не отличаются более  $20^\circ\text{C}$ ; при переходе от одного участка к соседнему допускается изменение температур скачками.

Определение плотности потока измерения в этом случае осуществляется через величину  $\varphi_1/\varphi_2$  для элементарной площадки, помещенной в заданную точку, от всей излучающей поверхности с помощью светового моделирования.

Систематизация и отбор основных форм и размеров, расположение рабочих мест около них принимались по типовым размерам (с учетом фиксированных рабочих мест).

При этом рассматривалось распределение тепловых полей по горизонтали, а вертикальная составляющая принималась с учетом расположения рабочих мест — 2м, при отсутствии более высоких отметок технологического оборудования, способного исказить тепловые поля за счет отражения. Высота рассматриваемых промышленных зданий и сооружений принималась равной  $h = 10\text{--}14$  м.

Для помещений с источниками подвижного инфракрасного излучения с ограниченным объемом и наличием дополнительного оборудования, строительных конструкций необходимо учитывать отражение тепло-

вой энергии и ее перераспределение на рабочих местах. При этом необходим дифференцированный подход, который и учитывает наша методика в физическом моделировании и интеграционная оценка картины терморadiационной напряженности в пространстве цеха.

На следующем этапе исследований возникла необходимость с помощью математического анализа вывести закономерность изменения отношения  $\varphi_1/\varphi_2$  от энергетической облученности.

Установка для светового моделирования (рис. 4) состоит из световой камеры (1); полупрозрачного экрана (2); матрицы ультраярких светодиодов (3).

Максимальный размер полупрозрачного экрана  $300 \times 340$  мм. При помощи подвижных шторок (4) размер светящегося окна можно уменьшить до  $20 \times 20$  мм, а при помощи специальных непрозрачных масок получать модель излучающей поверхности сложной формы.

Ультраяркие диоды в количестве 700 шт. яркостью 10–15 кандел питаются от источника напряжением 4,5 В, которое возможно регулировать от 2,0 до 4,5 В, потребляемый ток при максимальной яркости 35–40 А.

Световая камера располагалась на оптической скамье (5), которая имеет мерную шкалу (6) и приемная головка (7) имеет возможность по ней перемещаться на ползках.

**Выводы.** В результате теоретических исследований разработана экспериментальная установка для физического моделирования термической напряженности на рабочих местах с интенсивным тепловыделением.

На основании физического моделирования установлены закономерности изменения терморadiационной напряженности в зависимости от пространственного расположения источников теплового излучения.

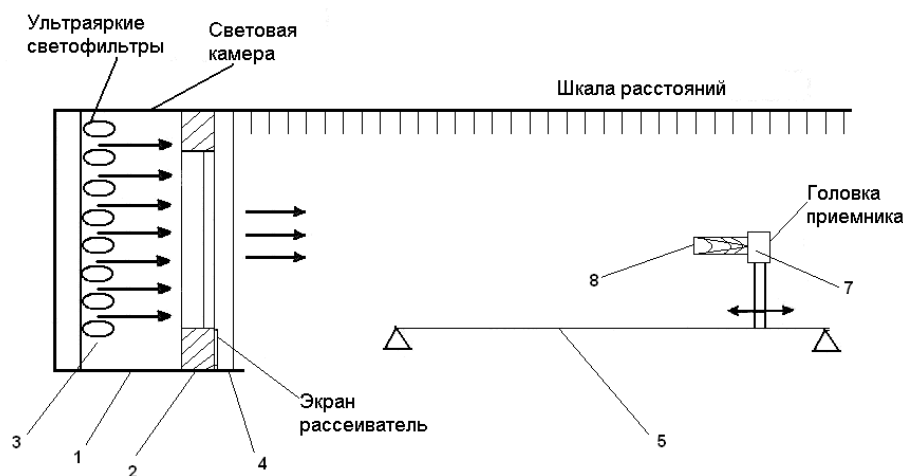


Рис. 4. Функциональная схема установки физического моделирования энергетической освещенности:

- 1 — световая камера; 2 — полупрозрачный экран; 3 — матрица ультраярких светодиодов; 4 — подвижные шторки; 5 — оптическая скамья; 6 — мерная шкала; 7 — приемная головка; 8 — светозащитная блenda

### Литература

1. Борхерт Р. Техника инфракрасного нагрева / Р. Борхерт, В. Юбиц. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 278 с.
2. Геращенко О.А. Тепловые и температурные измерения / О.А. Геращенко, В.Г. Федоров. — К.: Наукова думка, 1965. — 304 с.
3. Табунщиков Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Табунщиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. — М.: Стройиздат, 1986. — 379 с.
4. Марголин И.А. Основы инфракрасной техники / Марголин И.А., Румянцев Н.Н. — М.: Воениздат, 1957. — 308 с.
5. Геращенко О.А. Основы теплотрии / Геращенко О.А. — К.: Наукова думка, 1971. — 192 с.

### References

1. Borhert R. Tehnika infrakrasnogo nagreva / R. Borhert, V. Yubits. — M. — L.: Gosenergoizdat, 1963. — 278 s.
2. Geraschenko O.A. Teplovyie i temperaturnye izmereniya / O.A. Geraschenko, V.G. Fedorov. — K.: Naukova dumka, 1965. — 304 s.
3. Tabunschikov Yu. A. Teplovaya zaschita ograzhdayuschih konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy / Tabunschikov Yu. A., Hromets D. Yu., Matrosov Yu. A. — M.: Stroyizdat, 1986. — 379 s.
4. Margolin I.A. Osnovy infrakrasnoy tehniki / Margolin I.A., Rummyantsev N.N. — M.: Voenizdat, 1957. — 308 s.
5. Geraschenko O.A. Osnovy teplometrii / Geraschenko O.A. — K.: Naukova dumka, 1971. — 192 s.