

---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

## УСТАНОВКА ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ РАДИОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

**Т.Н. Соболевская;**

**В.А. Кораблёв, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики.**

**А.С. Некрасов.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Описана разработка прибора для измерения изменяющихся во времени высокоинтенсивных тепловых потоков с плотностью до  $50 \text{ кВт/м}^2$  и модели абсолютно черного тела для градуировки прибора.

*Ключевые слова:* радиометр, тепловой поток, модель абсолютно черного тела, тепломер

## INSTALLATION FOR CALIBRATION OF RADIOMETER FOR MEASURING HIGH-INTENSITY HEAT FLUX

T.N. Sobolevskaya; V.A. Korablev.

Saint-Petersburg National research university of information technologies,  
mechanics and optics.

A.S. Nekrasov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The construction of an instrument for measuring time-varying high-intensity heat fluxes with a density of up to  $50 \text{ kW/m}^2$  is described and a model of an absolutely black body for calibrating it is presented.

*Keywords:* radiometer, heat flow, the model of a black body, heat meter

### Градуировка радиометра

Для градуировки тепломера-радиометра необходимо было разработать источник стабильной, равномерно распределённой лучистой энергии большой интенсивности.

Максимальная требуемая плотность воспроизводимого теплового потока:  $5 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ . Расчётный интервал температур настройки  $50 \div 800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Максимальная допустимая неравномерность температурного поля излучателя:  $\pm 5 \text{ К}$ .

Прототипом разрабатываемой конструкции послужила цилиндрическая модель абсолютно чёрного тела (АЧТ). На рис. 1 схематически представлена конструкция

разрабатываемого устройства. Излучающая полость цельнолитая, образована цилиндрической стенкой (1) с глухим дном. Нагреватель (2) из нихромовой проволоки Х20Н80 монтируется витками на боковой стенке и дне излучателя. Температурное поле излучателя контролируется с помощью пяти термопар третьего типа ХА, закреплённых в дне и боковой стенке излучателя (3). Для снижения воздействия окружающей среды излучатель установлен в стальном кожухе (4), внутренняя и внешняя поверхности кожуха отполированы, в зазор между излучателем и кожухом уложен изоляционный материал (5) (базальтовая вата). Крепёж осуществляется с помощью стальных опор (6).

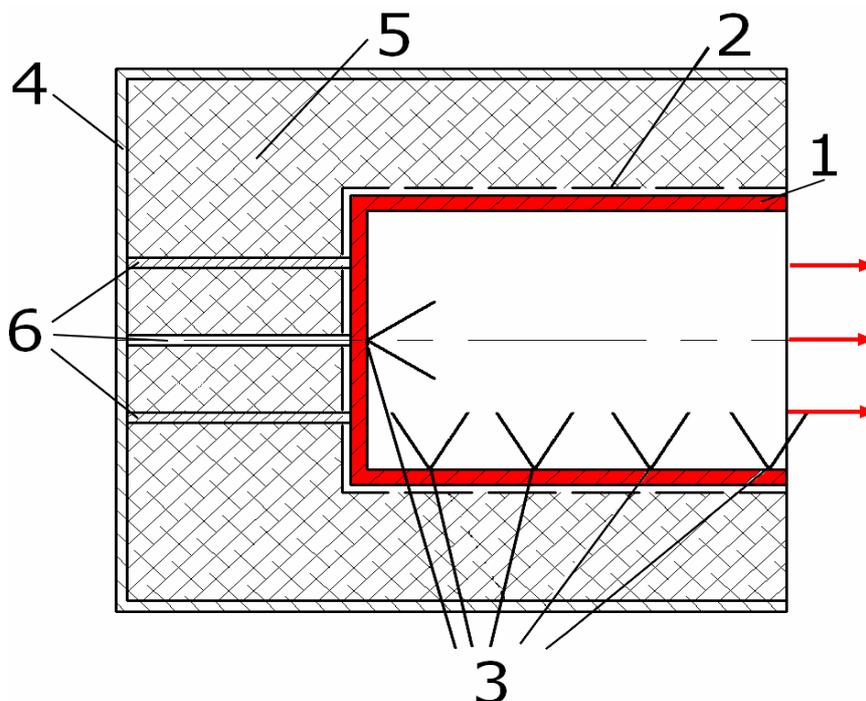


Рис. 1. Конструкция устройства для калибровки термомеров

Распределение плотности теплового потока  $q_w(x)$  рассчитано с помощью системы уравнений при известных температурах стенки  $T_i=800\text{ }^\circ\text{C}$  и воздуха  $T_j=20\text{ }^\circ\text{C}$ , радиусе цилиндра  $r=25\cdot 10^{-3}\text{ м}$ .

$$\begin{cases} \alpha_{n,ij}(x) = \frac{\varepsilon_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4) \varphi_{ij}(x)}{T_i - T_j} \\ \varphi_{ij}(x) = \frac{\left(\frac{x}{2r}\right)^2 + \frac{1}{2}}{\sqrt{\left(\frac{x}{2r}\right)^2 + 1}} - \left(\frac{x}{2r}\right)^2 \\ q_w(x) = \alpha_{n,ij}(x) l (T_i - T_j) \end{cases}$$

Результаты расчёта распределения  $q_w(x)$  приведены на рис. 2.

Реализовать такой характер распределения плотности теплового потока  $q_w(x)$  предлагается с помощью переменного количества слоев нагревателя, как показано на схеме (рис. 2).

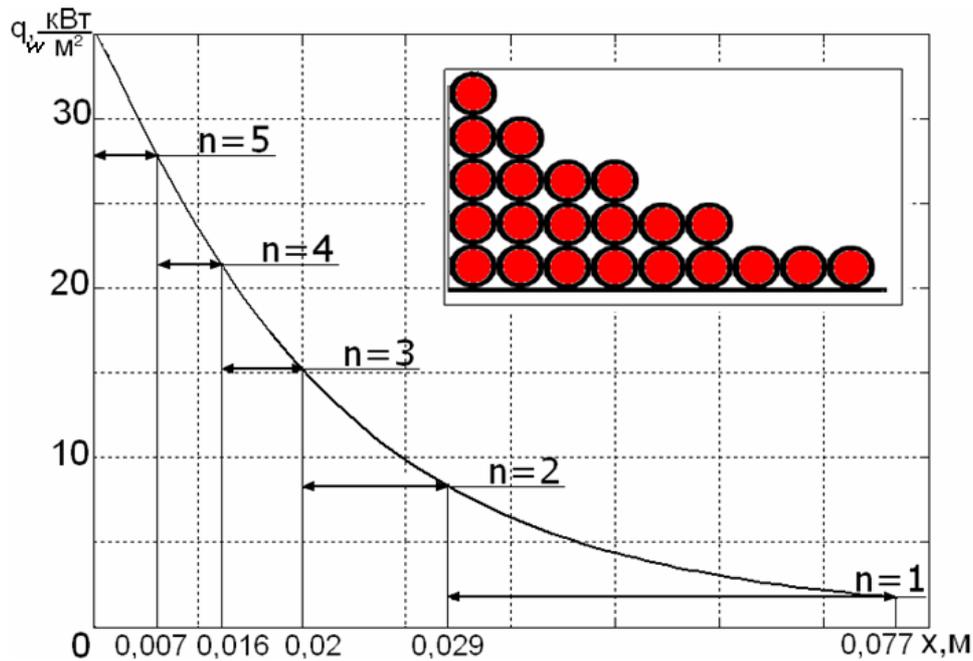


Рис. 2. Распределение слоёв нагревателя по длине излучателя, схема расположения витков слоями

Для определения количества  $n(x)$  слоёв нагревателя на участках излучателя проведено интегрирование плотности теплового потока по оси цилиндра:

$$\Phi_i \cdot n(x_i) = \int_{x_i}^{x_{i+1}} q_w dx$$

Результат расчёта распределения слоёв нагревателя представлен на рис. 2.

Видно, что для формирования равномерного распределения температуры по полости большой тепловой поток на открытом конце излучателя обеспечивается максимальным количеством слоёв витков нагревателя:  $n=5$ . Для корпуса излучателя предлагается использовать высокотеплопроводный материал – медь.

Экспериментальные исследования температурного поля излучателя с помощью термопар, установленных на боковой стенке вдоль оси цилиндра, показали его высокую изотермичность (не хуже  $\pm 0,6\%$  от температуры настройки). Об интенсивности теплового потока, воспроизводимого моделью, судят по закону Стефана-Больцмана [1].

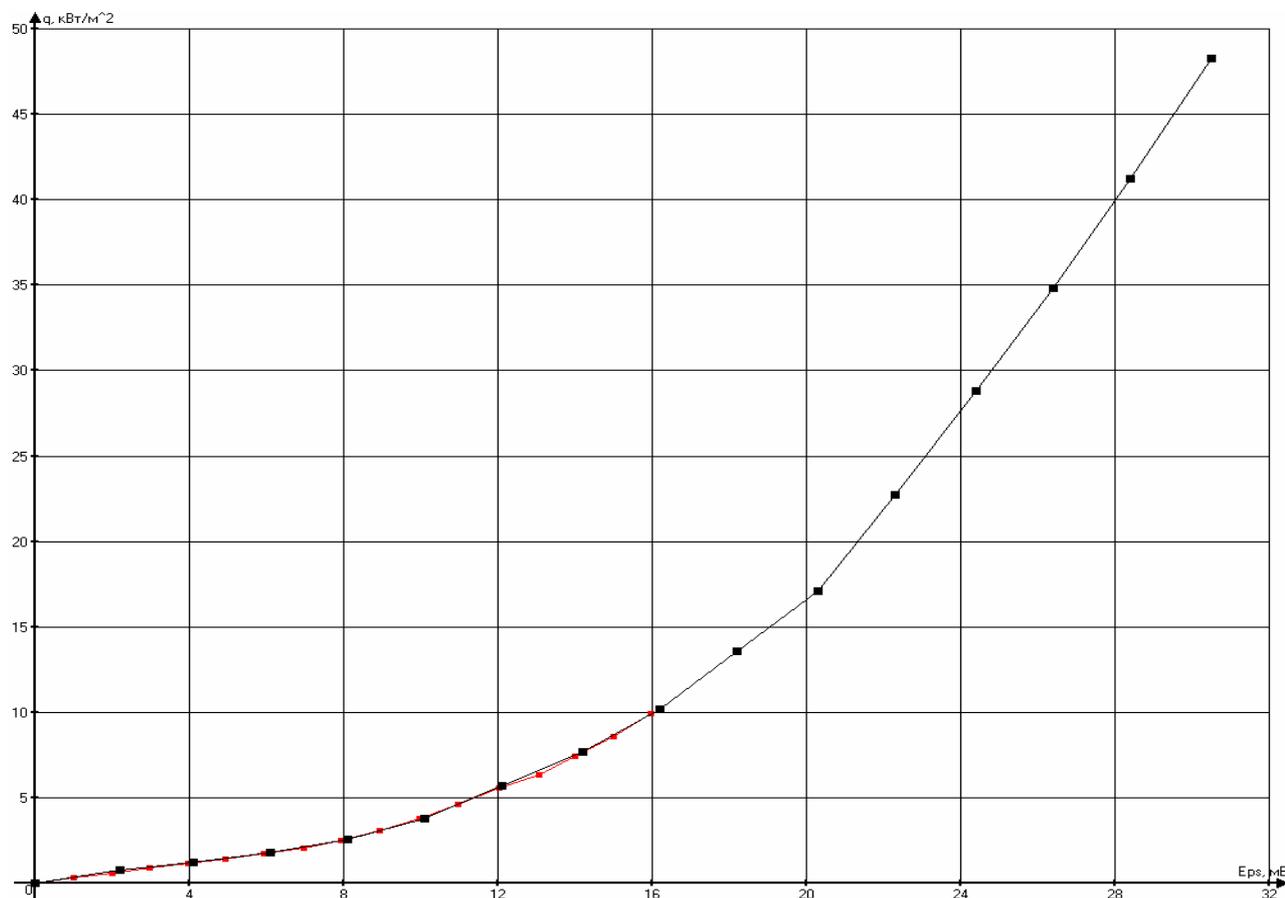
Высокий коэффициент излучения  $\varepsilon$  модели обеспечивается конструкцией излучателя и оксидированием поверхности. Коэффициент излучения поверхности: 0,9. Отношение длины цилиндра к диаметру  $\frac{l}{2r}=1,56$ . Эффективный коэффициент теплового излучения полого цилиндра при таких параметрах  $\varepsilon = 0,96$ .

Максимальный воспроизводимый тепловой поток моделью АЧТ составляет  $50 \text{ кВт/м}^2$ . Устройство позволяет перенастраиваться на уровни температур в диапазоне  $50 \div 800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Максимальная неравномерность температурного поля составляет  $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  при температуре стенки  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Потребляемая мощность не более 200 Вт.

Градуировка модели АЧТ была проведена с помощью пирометра С-300. Была получена зависимость между плотностью излучения теплового потока и показаниями термопары ХА (рис. 3). Кроме того, в диапазоне от 0 до  $10 \text{ кВт/м}^2$  был использован тепломер

Герашенко (диаметр 27 мм), разработанный в институте технической теплофизики Национальной академии наук (НАН) Украины.

При проведении калибровки на нагреватель подается электрическое напряжение, термомер устанавливается в непосредственной близости у выходного отверстия излучателя. Таким образом, ограничивается доступ воздуха внутрь полости из окружающей среды, конвективный теплообмен отсутствует. Весь тепловой поток передается излучением.



--- — тепломер Герашенко ИТТФ; -.-.- — пирометр С-300.

Рис. 3. Градуировка абсолютно чёрного тела

### Устройство стенда для градуировки

Для градуировки прибора был создан стенд, состоящий из оптической скамьи, на которой при помощи двух рейтеров установлены исследуемый радиометр и модель абсолютно черного тела (АЧТ). Сигналы от радиометра и модели АЧТ измеряются двумя цифровыми вольтметрами. О температуре АЧТ можно судить по показаниям термопар хромель-алюмель (ХА). Питание АЧТ производится от лабораторного автотрансформатора регулируемого (ЛАТР) [2]. По рис. 3 при помощи снятых показаний с вольтметра АЧТ определяются плотности излучаемых тепловых потоков.

После включения стенда на ЛАТРе постепенно увеличивают напряжение с шагом 10 В для увеличения теплового потока, испускаемого моделью АЧТ. Перед каждым увеличением напряжения на ЛАТРе при установившемся стационарном тепловом режиме фиксируют показания приборов.

Результаты наносятся на график (рис. 4) в виде зависимости регистрируемого теплового потока от напряжения, выдаваемого радиометром, и записываются в таблицу.

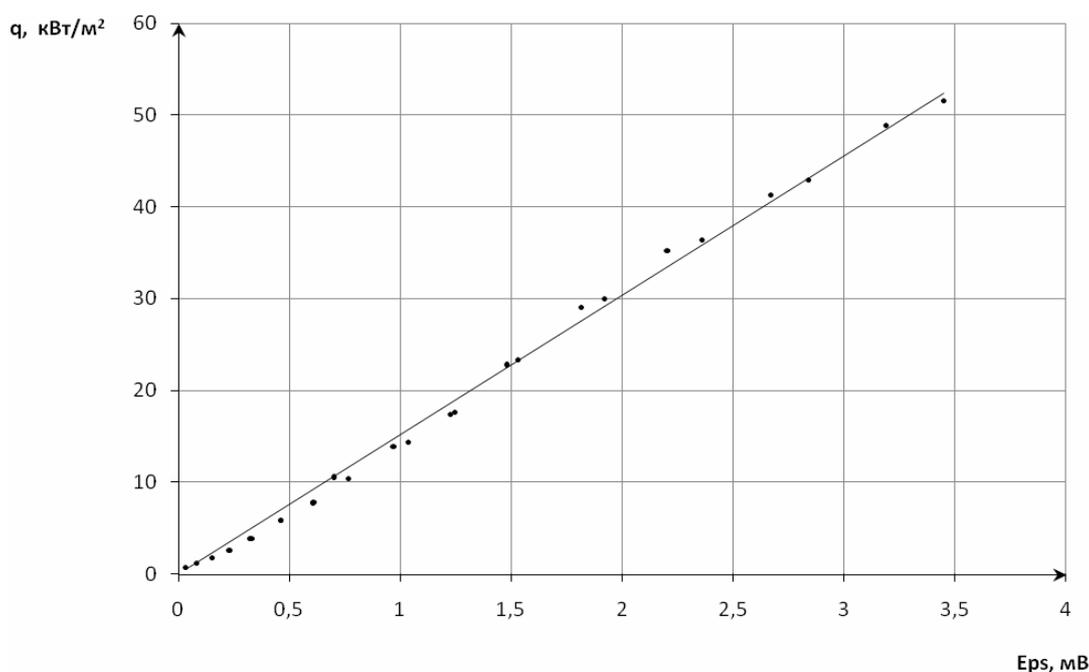


Рис. 4. Результат градуировки радиометра

Аналогичным способом регистрируют данные для различных углов между осями радиометра и модели АЧТ.

#### Динамические характеристики радиометра

Проведённые исследования показали, что созданный радиометр обладает заметной инерционностью. Поэтому необходимо исследовать его динамические характеристики. Исследование проводилось методом единичного воздействия. Установленный на оптической скамье прибор в начальный момент времени придвигается к модели АЧТ, и производится запись сигнала.

В результате опыта установлено, что величина:

$$\ln \frac{q(\tau) - q_0}{q_0},$$

где  $q(\tau)$  – тепловой поток в момент времени  $\tau$ ;  $q_0$  – стационарный тепловой поток, зависит от времени линейно. Отсюда можно сделать вывод, что радиометр можно рассматривать как аperiodическое звено первого порядка, а сигнал восстанавливается по зависимости:

$$q = A\varepsilon + B \frac{d\varepsilon}{d\tau}.$$

Разработанный прибор был использован при проведении исследований при натурном моделировании развития пожара в машинном отделении морского судна. Результаты испытаний показали, что он (прибор) соответствует требованиям по точности, быстродействию, живучести, надёжности и удобству использования.

#### Литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учеб. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1975. 488 с.
2. Стенд для испытаний приборов и средств защиты на устойчивость к мощным тепловым воздействиям / Д.П. Волков [и др.] // Приборы. 2004. Т. 48. № 6. С. 46–48.