

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

Кафедра высокоэнергетических процессов

Д. В. Королев, В. Б. Осташев, К. А. Суворов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ИЗЛУЧЕНИЯ
ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ
В ИК-ДИАПАЗОНЕ**

Методические указания к лабораторной работе

Санкт-Петербург
2004

УДК 662.5

Королев Д. В., Осташев В. Б., Суворов К. А. Определение силы излучения пиротехнических составов в ИК-диапазоне: Методические указания к лабораторной работе. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2004. — 26 с.

В методических указаниях описан метод определения силы излучения пиротехнических составов в ИК-диапазоне, приведены метод калибровки, последовательность проведения работ, порядок расчетов и оформления результатов.

Методические указания предназначены для студентов IV—VI курсов кафедры высокоэнергетических процессов. Могут быть полезны студентам, преподавателям и научным сотрудникам, специализирующимся в области светотехники и ИК-фотометрии пиротехнических составов.

Ил. 9, табл. 6, библиогр. 6 назв.

Рецензент: В. В. Благовещенский, канд. физ.-мат. наук,
доц. кафедры общей физики СПбГТИ

Утверждены на заседании учебно-методической комиссии факультета наукоемких технологий _____.20_____.

Рекомендованы к изданию РИСо СПбГТИ(ТУ).

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИК ИЗЛУЧЕНИИ	5
1.1. Спектр электромагнитного излучения.....	5
1.2. Основные характеристики составов ИК излучения	7
1.3. Излучательные свойства пиротехнических пламен	8
1.4. Энергетические характеристики пиротехнических источников ИК-излучения	10
2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	13
3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	15
3.1. Градуировка приемника излучения	15
3.2. Определение силы излучения ИК-составов	17
4. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.....	18
4.1. Обработка экспериментальных данных	18
4.1.1. Расчет силы излучения исследуемого источника.....	18
4.1.2. Обработка осциллограмм	18
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	21

ВВЕДЕНИЕ

Пиротехнические инфракрасные (ИК) излучатели нашли применение в ракетно-космической технике в системах слежения за ракетами, спутниками и другими космическими аппаратами для определения их положения и траектории. Пиротехнические ИК-излучатели устанавливаются на беспилотных мишенях, используемых для испытания ракет с ИК-головками самонаведения. Пиротехнические ИК-излучатели широко применяются в качестве ложных целей и оптических ловушек, которые выстреливаются с вертолетов, самолетов, боевых головок баллистических ракет, кораблей, крылатых ракет и других теплоизлучающих объектов для отвлечения от них ракет, имеющих инфракрасные головки самонаведения.

Пиротехнические ИК-излучатели должны обеспечивать определенную интенсивность излучения в определенном диапазоне спектра в течение заданного промежутка времени.

Измерение силы излучения производится методом замещения. Метод замещения основан на сравнении облученности приемника оптического излучения (ПИ), создаваемой исследуемым пиротехническим составом (ПС), с облучением, получаемым от эталонного источника.

Для определения параметров ИК-излучения используют тепловые и фотоэлектрические ПИ.

Тепловые приемники (термоэлементы, болометры) основаны на преобразовании оптического излучения сначала в тепловую энергию, а затем в электрическую.

В фотоэлектрических (фотонных) приемниках (фотоэлементы, фоторезисторы, вентильные фотоэлементы) происходит прямое взаимодействие между падающими фотонами и электронами материала чувствительного элемента. Вентильные фотоэлементы — в частности, фотодиоды — состоят из двух различных контактирующих полупроводников с различным типом проводимости, на границе которых при облучении возникает электродвижущая сила.

Сигналы, получаемые на выходе приемников излучения, обычно малы и перед подачей на измерительный или регистрирующий прибор требуют усиления. Для этого применяются усилители постоянного тока.

В качестве эталонного источника излучения могут использоваться различные тепловые источники, излучение которых близко к излучению абсолютно черного тела (АЧТ). В лабораторной практике широко применяются электрические лампы накаливания.

Цель работы — ознакомиться с оборудованием и освоить методику определения силы излучения пиротехнических составов в различных диапазонах ИК-спектра.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИК ИЗЛУЧЕНИИ

1.1. Спектр электромагнитного излучения

Основной характеристикой электромагнитных колебаний является длина волны λ или частота ν , которые через скорость света c связаны между собой простым соотношением $\nu\lambda=c$ и, таким образом, однозначно определяют одна другую. По мере изменения длины волны (частоты) электромагнитных колебаний меняется вид процессов, которыми они обусловлены.

Видимый человеческим глазом свет занимает лишь малую часть всего диапазона электромагнитных колебаний (рис. 1).

Нагретые тела излучают, кроме световых волн, невидимые — ультрафиолетовые и инфракрасные. Длина волны ультрафиолетового излучения (рис. 1) меньше 0,4 мкм. Инфракрасные лучи имеют длину волн от 0,76 до 1000 мкм, т.е. больше, чем видимый свет, и меньше, чем ультракороткие радиоволны.

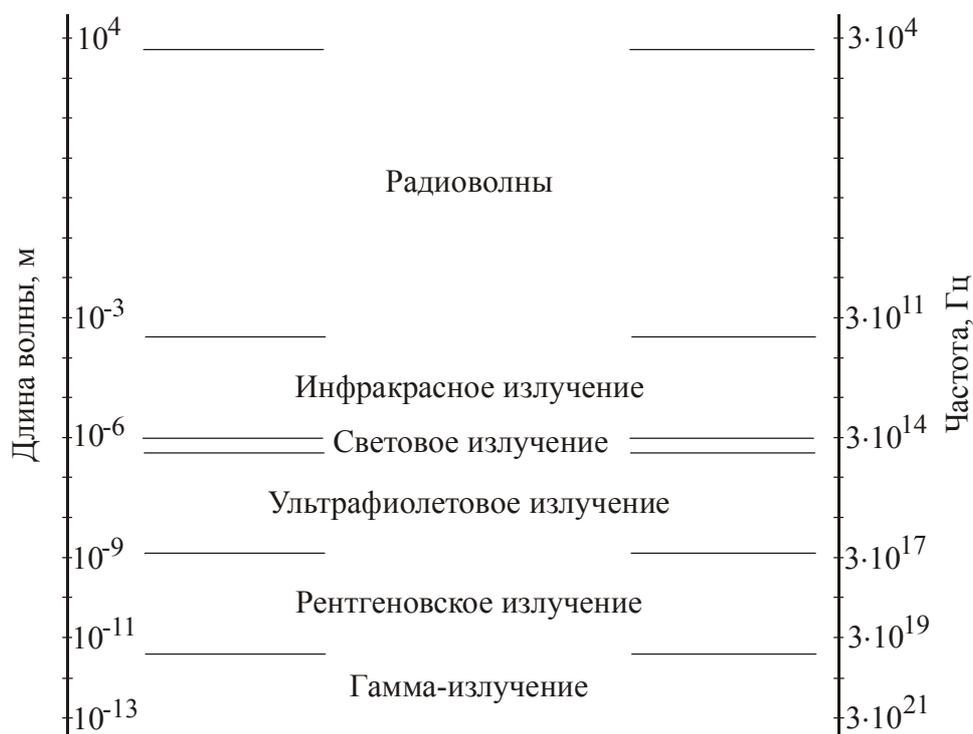


Рис. 1. Шкала электромагнитных волн

Инфракрасное излучение — излучение, испускаемое телами, связанное с тепловым движением молекул, переходами между колебательными, вращательными, колебательно-вращательными

энергетическими уровнями молекул, лежащее в области спектра с длинами волн большими, нежели воспринимаемое человеческим глазом. Длинноволновая граница ИК-диапазона размыта и различия между инфракрасным излучением и радиоволнами весьма условно. Оно сводится к различию в природе возникновения электромагнитных волн, а не к особым свойствам самих волн. Коротковолновая граница ИК-диапазона определяется чувствительностью человеческого глаза (см. рис. 1, с. 5).

Тепловое излучение — испускание электромагнитных волн за счет внутренней энергии тела. К тепловому излучению относятся все виды излучения ИК-диапазона. Однако это не значит, что тепловое излучение сводится только к ИК-излучению. Например, свечение лампы накаливания тоже относится к тепловому излучению.

Объекты, имеющие высокую температуру, сами являются мощными источниками инфракрасного (теплого) излучения. К таким объектам относятся двигатели самолетов, танков, кораблей, тепловые электростанции и т. п. (табл. 1).

Таблица 1

Тепловое излучение военных объектов

Объект	Максимум спектра излучения, мкм	Сила излучения, кВт/ср	Источник излучения
Объекты военно-морского флота	8—10	4—8	Дымовые трубы, палубы над силовыми установками, отработанные газы двигателей
Бронированная техника	2,7—5,3	—	Обшивка брони над двигателями и выхлопными патрубками
Вертолеты	3—5	0,6	Выхлопные патрубки двигателей
Самолеты	2,7 4,3	—	Газовые струи реактивных двигателей (пары H ₂ O и CO ₂)
	4—6	4	Обшивка сверхзвуковых самолетов (~300°C)
Баллистические ракеты	2—12	—	Тепловое излучение поверхности

Кинетический нагрев обшивки самолетов и ракет, летающих с большими скоростями, обуславливает их значительное инфракрасное излучение. Так, например, бомбардировщик, летящий на высоте 30 км со скоростью, соответствующей $M=3$, излучает впереди себя вдоль продольной оси $4 \cdot 10^3$ Вт/ср, а головная часть баллистической ракеты, летящая со скоростью, соответствующей $M=10$ на высоте 40 км излучает впереди себя вдоль оси $6 \cdot 10^4$ Вт/ср.

1.2. Основные характеристики составов ИК излучения

Поток излучения — величина равная, отношению энергии (W), переносимой излучением ко времени переноса (t), значительно превосходящему период колебаний электромагнитного поля в волне. Единица измерения в системе СИ — ватт (Вт)

$$\Phi = \frac{\Delta W}{\Delta t}. \quad (1)$$

Плотность излучения (энергетическая светимость) — поток излучения (Φ), излучаемый с единицы поверхности S во всех направлениях. Единица измерения в системе СИ — ватт на квадратный метр (Вт/м²)

$$R = \frac{\Phi}{S}. \quad (2)$$

Облученность (энергетическая освещенность) — поток излучения (Φ), падающий на поверхность S . Единица измерения в системе СИ — ватт на квадратный метр (Вт/м²)

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (3)$$

Сила излучения — величина, равная отношению потока излучения к единице телесного угла (ω). Единица измерения в системе СИ — ватт настерадиан (Вт/ср)

$$I = \frac{\Phi}{\omega}. \quad (4)$$

Энергетическая яркость (лучистость) — поток (Φ), излучаемый с единицы площади проекции излучающей поверхности S , в определенном направлении и приходящийся на единицу телесного угла (ω). Единица измерения в системе СИ — ватт настерадиан на метод квадратный (Вт/ср·м²)

$$B = \frac{\Phi}{S\omega \cos\theta} = \frac{I}{S \cos\theta}, \quad (5)$$

где θ — угол между направлением излучения и нормалью к поверхности излучения.

Лучеиспускательная способность (спектральная плотность энергетической светимости) — коэффициент пропорциональности между

энергетической светимостью, излучаемой телом в бесконечно малом спектральном диапазоне и величиной этого диапазона

$$m_{\lambda} = \frac{R}{\Delta\lambda}, \quad (6)$$

$$R = m_{\lambda} \Delta\lambda. \quad (7)$$

Лучепоглощательная способность — отношение потока излучения, поглощенного поверхностью в, спектральном диапазоне, к потоку излучения, падающему на поверхность в этом спектральном диапазоне (фактически, коэффициент отражения для данной длины волны или частоты)

$$a_{\omega} = \frac{\Phi_{\omega}}{\Phi'_{\omega}}. \quad (8)$$

1.3. Излучательные свойства пиротехнических пламен

Спектр излучения пиротехнического пламени в общем случае состоит из линий, полос и сплошного фона. Линейчатый спектр обусловлен излучением или поглощением света свободными атомами вследствие переходов электронов. Каждая линия соответствует переходу из одного состояния в другое. Полосатые спектры в УФ и видимой областях соответствуют электронным переходам в молекулах. Эти переходы определяют место системы полос в целом.

Электронные переходы в молекулах сопровождаются одновременным изменением колебательной и вращательной энергии. Каждый электронный переход в молекуле дает ряд полос, состоящих из большого числа близко расположенных линий, обусловленных изменением колебательной и вращательной энергии молекулы. Изменения колебательной энергии молекулы определяют место отдельных полос в системе. Изменения вращательной энергии молекулы определяют тонкую структуру отдельных полос. Полосатые спектры в близкой ИК-области обусловлены только изменением колебательной и вращательной энергии молекул, а спектры в далекой ИК-области вызваны изменениями только вращательной энергии.

Если взаимодействие между молекулами становится достаточно сильным, как в случае сжатых газов, жидкости или твердого тела, то линии излучения и поглощения расширяются и в итоге сливаются в сплошной

спектр. В некоторых случаях появление в спектре участков непрерывного излучения может быть вызвано такими процессами, как процесс рекомбинации ионов, ассоциации атомов или радикалов.

По видам спектров пламена могут быть разделены на три типа:

- 1) пламена с преобладающим сплошным спектром;
- 2) пламена с преобладающим линейчатым и полосатым спектром;
- 3) пламена со смешанным линейчатым, полосатым и сплошным спектром.

Пламена с преобладающим сплошным спектром, как правило, имеют белый цвет либо слабо выраженные цветовые оттенки. Энергия таких пламен излучается в широких участках спектра. С их помощью удается получать источники, излучающие (по сравнению с другими пламенами) наибольшее количество энергии на единицу массы сжигаемого топлива. Пламена этого типа используют, например, в осветительных и фотоосветительных средствах, а также в качестве источников излучения в ИК-области спектра.

Пламена второго типа могут быть бесцветными (т. е. практически неизлучающими в видимой области спектра) и с цветовыми оттенками. Цветные пламена используются в сигнальных и трассирующих средствах. Как правило, они излучают значительно меньшее количество энергии на единицу массы сжигаемого топлива, чем пламена первого и третьего типов.

Пламена третьего типа имеют обычно ярко выраженные цветовые оттенки и используются в осветительных и трассирующих средствах, а также в качестве источников излучения в ИК-области спектра. По излучаемой энергии эти пламена занимают промежуточное положение между пламенами первого и второго типа.

Разделение пламен на три типа возможно для конкретного диапазона длин волн излучаемого спектра. Одно и то же пламя может быть отнесено, например, к первому типу в одном спектральном диапазоне и к иному типу в другом спектральном диапазоне. Это связано с тем, что соотношение между линейчатым, полосатым и сплошным участками в спектре может быть разное в различных областях спектра.

Диапазон теплового излучения пламен простирается от 0,1 до 100 мкм. Человеческий глаз воспринимает только очень малую часть спектра. Видимый свет охватывает колебания с длинами волн от 0,396 до 0,760 мкм. Количество выделяемой при горении световой энергии весьма мало (рис. 2). Так, «световой» к.п.д. абсолютно черного тела при температуре 2000°С составляет всего 0,7%. Доля лучистой энергии может составлять до 40% от тепловой энергии, выделяемой при горении пиротехнических составов.

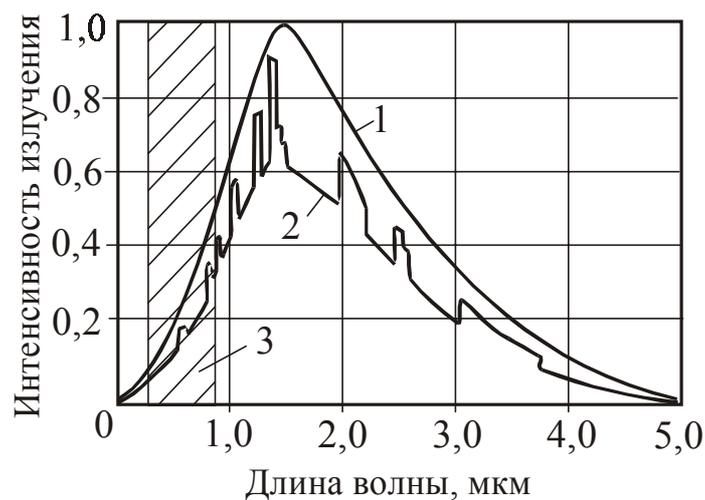


Рис. 2. Распределение энергии излучения по спектру:
1 — АЧТ при 3000 К; 2 — осветительный состав; 3 — область видимого света

1.4. Энергетические характеристики пиротехнических источников ИК-излучения

Если лучистая энергия видимого излучения обычно измеряется в светотехнических единицах, то ИК-излучение, которое невидимо и интенсивность зрительного восприятия которого равна нулю, оценивается в энергетических единицах.

В табл. 2 приведены основные энергетические характеристики ПК-излучения.

Энергетические величины и единицы

Термин	Определение	Единицы измерения
Энергия излучения (лучистая энергия)	Энергия, переносимая излучением	Дж
Объемная плотность энергии излучения	Количество энергии излучения, приходящейся на единицу объема, в котором распространяются электромагнитные волны	Дж/м ³
Поток излучения (мощность потока излучения)	Мощность лучистой энергии или количество энергии, излучаемой, поглощаемой или переносимой в единицу времени	Вт
Энергетическая сила света (сила излучения)	Излучаемый лучистый поток, приходящийся на единицу телесного угла	Вт/ср
Энергетическая освещенность (облученность или плотность облучения поверхности)	Лучистый поток, падающий на единицу поверхности	Вт/м ²
Энергетическая светность (плотность излучения поверхности)	Лучистый поток, излучаемый или отражаемый единицей поверхности во всех направлениях	Вт/м ²
Энергетическая яркость (лучистость)	Излучение лучистой энергии в определенном направлении с единицы поверхности	Вт/(ср·м ²)
Количество облучения	Произведение энергетической освещенности на длительность облучения, равное количеству лучистой энергии, упавшей на единицу площади поверхности за время t	Дж/м ²
Выход излучения	Выход лучистой энергии на единицу подведенной мощности другого вида энергии	

Имея экспериментальные данные о средней энергетической силе излучения и времени горения ИК-источника (факела, звездки, излучателя), можно рассчитать характеристики, относящиеся непосредственно к составам ИК-излучения: удельное количество излучения, выход излучения, энергетическую яркость и энергетический к.п.д.

Эффективность ИК-составов характеризуется следующими параметрами:

- силой ИК-излучения в заданном диапазоне спектра $\lambda_1 - \lambda_2$,
- удельной энергосуммой — энергией излучения ПС в диапазоне спектра $\lambda_1 - \lambda_2$, отнесенной к массе, сгорающей за единицу времени

$$L_y = I_{\lambda_1-\lambda_2} \frac{\tau}{m},$$

где $I_{\lambda_1-\lambda_2}$ — сила излучения в диапазоне спектра $\lambda_1-\lambda_2$; τ — время горения ПС; m — масса ПС;

— долей полезного излучения η — отношением силы излучения в диапазоне спектра $\lambda_1-\lambda_2$ к полной силе излучения ПС

$$\eta = \frac{I_{\lambda_1-\lambda_2}}{I_{0-\infty}},$$

где $I_{0-\infty}$ — сила полного излучения.

В отдельных случаях задается отношение силы ИК-излучения в требуемом диапазоне спектра к силе света ПС или соотношением силы ИК-излучения в двух определенных диапазонах спектра. По величине сопутствующего светового эффекта ПС ИК-излучения разделяются на две группы:

— светящие ПС — составы с максимальной силой ИК-излучения в требуемом диапазоне спектра независимо от силы света и излучения в других диапазонах спектра;

— малосветящие ПС — составы с максимальной силой ИК-излучения в требуемом диапазоне спектра при минимально возможной силе света.

Составы ИК-излучения в соответствии с требуемым диапазоном спектра подразделяются на три группы:

коротковолнового ИК-излучения — 0,75...2,5 мкм;

средневолнового ИК-излучения — 3...5 мкм;

длинноволнового ИК-излучения — 8...14 мкм.

2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Для проведения экспериментов необходимо следующее оборудование:

1. Фотометрическая скамья.
2. Трехканальный радиометр (либо одно- или двухканальный с соответствующими фильтрами).
3. Светоизмерительная лампа.
4. Устройство регистрации (осциллограф, двухкоординатный самописец или компьютер с соответствующим аппаратным и программным обеспечением).

Фотометрическая скамья применяется для градуировки фотоэлементов (рис. 3). При градуировке определяется зависимость между облученностями фотоэлементов и показаниями прибора, регистрирующего возникающий в них ток.

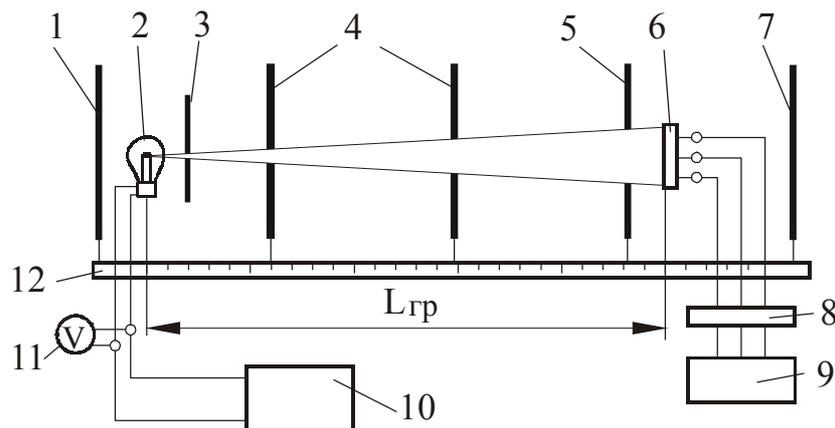


Рис. 3. Схема градуировки радиометрического устройства:
 1,7 — концевые защитные экраны; 2 — светоизмерительная лампа; 3 — диафрагма перед лампой; 4 — промежуточные диафрагмы; 5 — диафрагма перед приемником; 6 — приемник излучения; 8 — усилитель сигнала; 9 — устройство регистрации; 10 — источник регулируемого стабилизированного излучения; 11 — вольтметр; 12 — фотометрическая скамья; $L_{гр}$ — градуировочная база

Фотометрическая скамья — это две жестко укрепленные трубы со шкалой для точного измерения расстояний. Она обеспечивает перемещение приемника излучения вдоль оптической оси светоизмерительной лампы на расстояние от 0,2 до 3,0 м. Эталонная светоизмерительная лампа и приемник излучения монтируются на каретках. Между каретками расположены экраны с круглыми отверстиями

для исключения попадания посторонних лучистых потоков на приемник излучения.

Радиометр предназначен для измерения параметров излучения пламени пиротехнических составов с температурами горения в диапазоне от 1000°С до 3500°С.

Основной частью радиометра являются фотопреобразователи, соединенные специальными кабелями с масштабными усилителями, которые, в свою очередь, подключены к системе регистрации аналоговой или цифровой информации.

Каждый из фотопреобразователей состоит из корпуса, внутри которого расположен фотоприемник, у оптического входа которого размещен оптический абсорбционный фильтр.

Радиометр относится к числу компарирующих измерительных приборов. Принцип его действия заключается в преобразовании фотоэлектрическим приемником энергии излучения в спектральном диапазоне чувствительности, ограниченном оптическим фильтром, в электрический сигнал на основе внутреннего фотоэффекта. В качестве фотоприемников излучения применены:

— для канала 1 ($\Delta\lambda=0,84...1,16$ мкм) — кремниевый фотодиод, оптический фильтр этого канала выполнен из инфракрасного оптического стекла марки ИКС1 толщиной 2,5 мм;

— для канала 2 ($\Delta\lambda=1,06...1,70$ мкм) — германиевый фотодиод, оптический фильтр этого канала выполнен из пластины кристаллического кремния толщиной 0,50 мм;

— для канала 3 ($\Delta\lambda=1,60...4,10$ мкм) — фотогальванический элемент на основе селенида свинца, оптический фильтр из пластины кристаллического германия толщиной 0,5 мм встроен внутрь фотоприемника.

Диапазон энергетической освещенности по каждому из каналов приведен в табл. 3.

Таблица 3

Диапазон энергетической освещенности каналов

Канал	Канал 1 $\Delta\lambda=0,84... 1,16$ мкм	Канал 2 $\Delta\lambda=1,06... 1,70$ мкм	Канал 3 $\Delta\lambda=1,60... 4,10$ мкм
Диапазон энергетической освещенности, Вт/м ²	0,5...60	2...100	0,1...25

Измерение интегрального коэффициента преобразования в любом диапазоне энергетической освещенности не более 5%. Угол поля зрения каждого фотоприемного устройства не менее 45°. Предел инструментальной погрешности каждого из каналов не более 10%.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

3.1. Градуировка приемника излучения

Для того чтобы перейти от электрических величин к энергетическим, необходимо приемник с электроизмерительным прибором проградуировать по эталонному источнику излучения.

Градуировка (калибровка, тарировка) заключается в определении цены 1 мм высоты осциллограммы в Вт/м².

Подготовка и проведение градуировки осуществляется в описанной ниже последовательности.

1. Для каждого канала по максимальному ожидаемому линейному размеру излучающей поверхности l определяется база измерений L_{II} по формуле

$$L_{II} \geq 10l,$$

при этом погрешность измерения силы излучения менее 0.5%. В случае малой величины ожидаемого потока излучения допускается проведение измерений с меньших баз, например в случае $L_{II} \geq 5l$ погрешность, связанная с неточностью источника излучения возрастает до 1.4%.

2. Электрический выход фотопреобразователя соединяется со входом регистратора в соответствии со схемой, показанной на рис. 4. В качестве регистратора используется осциллограф, двухкоординатный самописец или компьютер с соответствующим аппаратным и программным обеспечением (прил.).

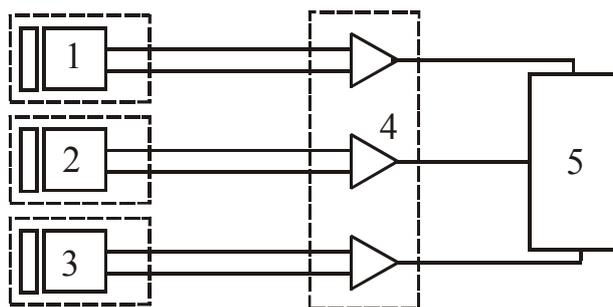


Рис. 4. Принципиальная схема радиометрического устройства:

1, 2, 3 — оптические преобразователи излучения для 3-х каналов; 4 — усилитель сигнала; 5 — устройство регистрации

3. Светоизмерительная лампа устанавливается на расстоянии $L_{ГР}$ от фотопреобразователя. Рекомендуемые значения градуировочной базы фотометрирования $L_{ГР}$: 1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 м.

4. Собирается электрическая цепь питания светоизмерительной лампы.

5. Включается регистратор и проводится регистрация фоновых потоков.

6. Включается электрическое питание светоизмерительной лампы, устанавливается паспортный режим работы и выдерживается в течение 30 секунд.

7. Регистрируется отклик регистратора при различной базе фотометрирования.

8. По окончании градуировки для различных значений базы фотометрирования рассчитываются значения калибровочного коэффициента по трем каналам

$$K = \frac{I_{ГР}}{n_{ГР}} \left(\frac{1}{L_{ГР}} \right)^2,$$

где, $I_{ГР}$ — значение силы излучения светоизмерительной лампы, Вт/ср;

$n_{ГР}$ — отклик регистратора при измерении потока излучения светоизмерительной лампы;

K — калибровочный коэффициент (константа прибора).

Пример калибровочной осциллограммы показан на рис. 5.

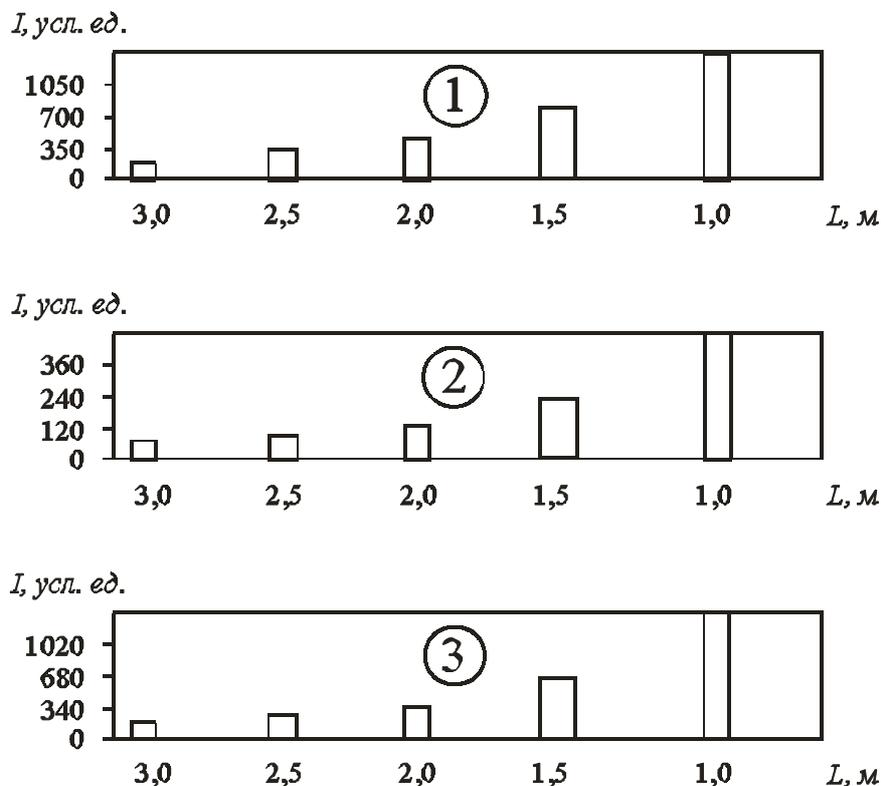


Рис. 5. Пример калибровочной осциллограммы

3.2. Определение силы излучения ИК-составов

1. Фотопреобразователи каналов устанавливаются на рассчитанных расстояниях до места расположения исследуемого источника измерения $L_{И}$ (рис. 6). База измерений должна быть не менее (5...10)-кратного максимального линейного размера излучающей поверхности-источника.

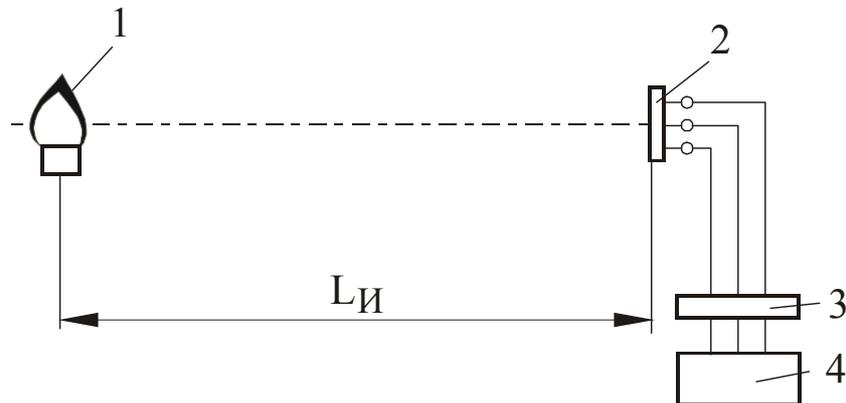


Рис. 6. Схема проведения испытаний:

1 — источник излучения; 2 — радиометр; 3 — усилитель сигнала; 4 — устройство регистрации; $L_{И}$ — база измерения

2. Устанавливается рабочий режим регистратора.
3. Регистрируются фоновые потоки измерения (нулевые сигналы фотопреобразователей или базовые линии).
4. Включается цепь индикации исследуемого источника (в случае измерения силы излучения ИК-состава производится воспламенение).
5. Регистрируются сигналы фотопреобразователей в течение времени работы исследуемого источника. По окончании работы источника излучения режим регистрации выключается.

4. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

4.1. Обработка экспериментальных данных

4.1.1. Расчет силы излучения исследуемого источника

Сила излучения, исследуемого источника излучения, Вт/ср, рассчитывается по формуле

$$I_{И} = I_{ГР} \left(\frac{L_{И}}{L_{ГР}} \right)^2 \frac{n_{И}}{n_{ГР}} = n_{И} L_{И}^2 K,$$

где $n_{И}$ — отклик регистратора при измерении силы излучения исследуемого источника.

4.1.2. Обработка осциллограмм

Пример рабочей осциллограммы фотометрирования ИК-состава приведен на рис. 7.

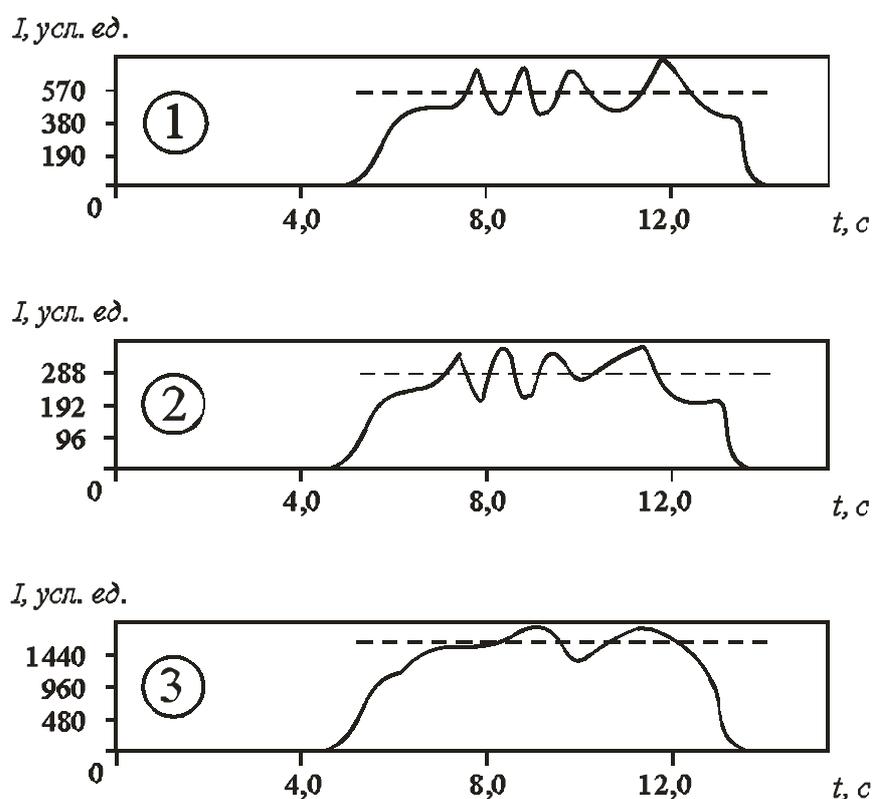


Рис. 7. Рабочая осциллограмма фотометрирования ИК-состава

Расчет характеристик можно вести вручную, либо при помощи электронных таблиц. Пример расчетов, с использованием электронных таблиц Microsoft Excel приведен в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Схема расчета характеристик в Excel

	A	B	C	D
1	Калибровка			
2	R, м=	3		
3	nx=	245	Iгрх, Вт/ср=	14,6
4	ny=	74	Iгры, Вт/ср=	24,3
5	nz=	290	Iгрz, Вт/ср=	21,6
6	Kx=	=D\$3/(B3*B\$2^2)		
7	Ky=	=D\$4/(B3*B\$2^2)		
8	Kz=	=D\$5/(B3*B\$2^2)		
9	Расчет			
10	nx=	730		
11	ny=	386		
12	nz=	1880		
13	Iх, Вт/ср =	=B6*B10*B\$2^2		
14	Iу, Вт/ср =	=B7*B11*B\$2^2		
15	Iz, Вт/ср =	=B8*B12*B\$2^2		

Таблица 5

Результаты расчетов, проведенных в Excel

Калибровка			
R, м=	3		
Nx=	245	Iгрх, Вт/ср=	14,6
Ny=	74	Iгры, Вт/ср=	24,3
Nz=	290	Iгрz, Вт/ср=	21,6
Kx=	0,006621		
Ky=	0,036486		
Kz=	0,008276		
Расчет			
Nx=	730		
Ny=	386		
Nz=	1880		
Iх, Вт/ср =	43,50204		
Iу, Вт/ср =	126,7541		
Iz, Вт/ср =	140,0276		

Результаты радиометрирования сводятся в таблицу (табл. 6).

Таблица 6

Результаты испытаний

Шифр состава	Номер образца	Скорость горения, мм/с		Сила излучения, Вт/ср		Удельная энергосумма, Вт·с/(г·ср)
		образца	Средняя	образца	средняя	
I	1					
	2					
	3					
II	1					
	2					
	3					

На основании полученных данных анализируется влияние исследованных факторов на характеристики ИК-излучения ПС и делаются выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Спектр электромагнитного излучения, ИК излучение и тепловое излучение.
2. Тепловое излучение военных объектов.
3. Область применения пиротехнических источников излучения.
4. Энергетические характеристики излучения ИК-составов.
5. Устройство радиометра и его калибровка.
6. Проведение эксперимента и расчет характеристик пиротехнических ИК составов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козелкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники.— М.: Машиностроение, 1967.
2. Светоэнергетические величины и их измерения: Метод. указ. к лаб. работам / Сост.: Карпов Ю. П., Свиридов Л. Н., Дудырев А. С., Малеева Л. Е.; ЛТИ им. Ленсовета.— Л., 1980.— 43 с.
3. Батурова Г. С., Валеев Н. Х., Карпов Ю. П., Свиридов Л. Н. Лабораторные работы по курсу: «Теоретические основы пиротехники».— М.: ЦНИИНТИ, 1984.— 240 с.
4. Вугман С.М., Вдовин Н.С. Тепловые источники излучения для метрологии. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 80 с.
5. Источники и приемники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов/Г.Г.Ишанин, Э.Д.Панков, А.Л.Андреев, Г.В.Польщиков.—СПб.: Политехника, 1991.—240 с.
6. Шидловский А.А. Основы пиротехники.—М.: Машиностроение, 1973. — 320 с.
7. Вспомогательные системы ракетно-космической техники. Пер. с англ. Под ред И.В.Тишунина. — М.: Мир, 1970. —

8. ПРИЛОЖЕНИЕ

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Компьютерная регистрация и обработка сигналов производится при помощи программы «Infra Red». Управление программой осуществляется при помощи кнопок и меню элементов управления (рис. 1). Открытие и сохранение файлов данных с накопленной информацией осуществляется нажатием на соответствующие кнопки панели инструментов. Регистрация сигналов осуществляется при помощи группы кнопок управления Аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

Расчет светозенергетических характеристик осуществляется при нажатии на кнопку «Расчет».

Установка параметров осуществляется при нажатии на кнопку «Параметры».

К параметрам (рис. 2), которые необходимо установить перед началом работы, относятся следующие

- номера каналов к которым подключены фотопреобразователи — уточнить у преподавателя;
- «Частота опроса» — рекомендуется значение 10—100 мс;
- «Число точек» — 10000;
- «Константа прибора» — рассчитывается при калибровке для каждого канала;
- «Управление» — уточнить параметры у преподавателя.

При работе рекомендуется следующая последовательность действий.

1. Включить «Ждущий режим АЦП» нажав на соответствующую кнопку. При этом программа будет ожидать подачи сигнала с пульта управления для регистрации сигналов. Регистрация прекращается при выключении управляющего сигнала.

2. Сохранить файл данных на жестком диске.

3. Проверить сохраненные данные, открыв файл данных.

4. Приступить к обработке, нажав на кнопку «Расчет».

5. При испытании нескольких образцов повторить пункты 1—4.

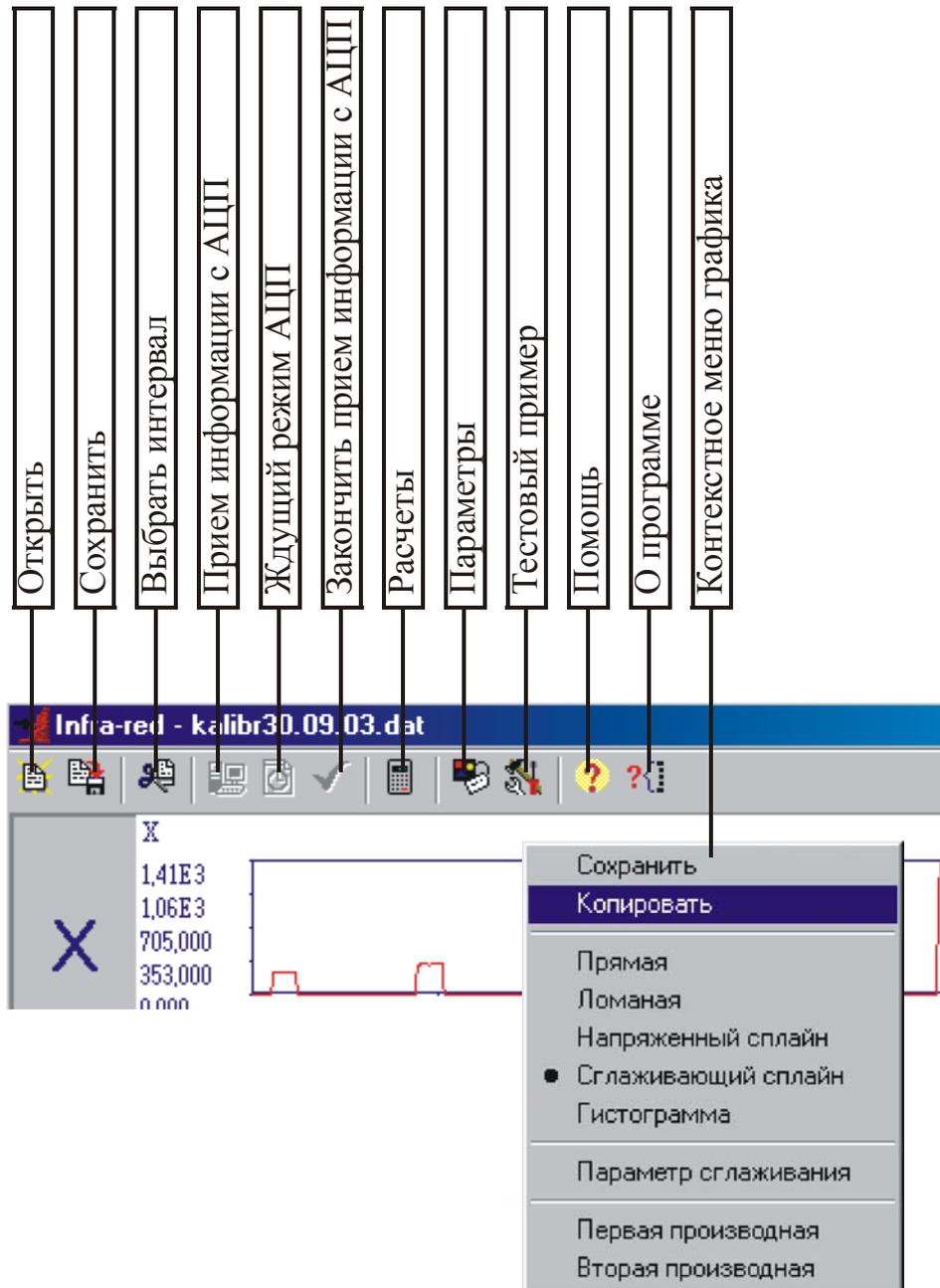


Рис. 1. Элементы управления программой «Infra Red»

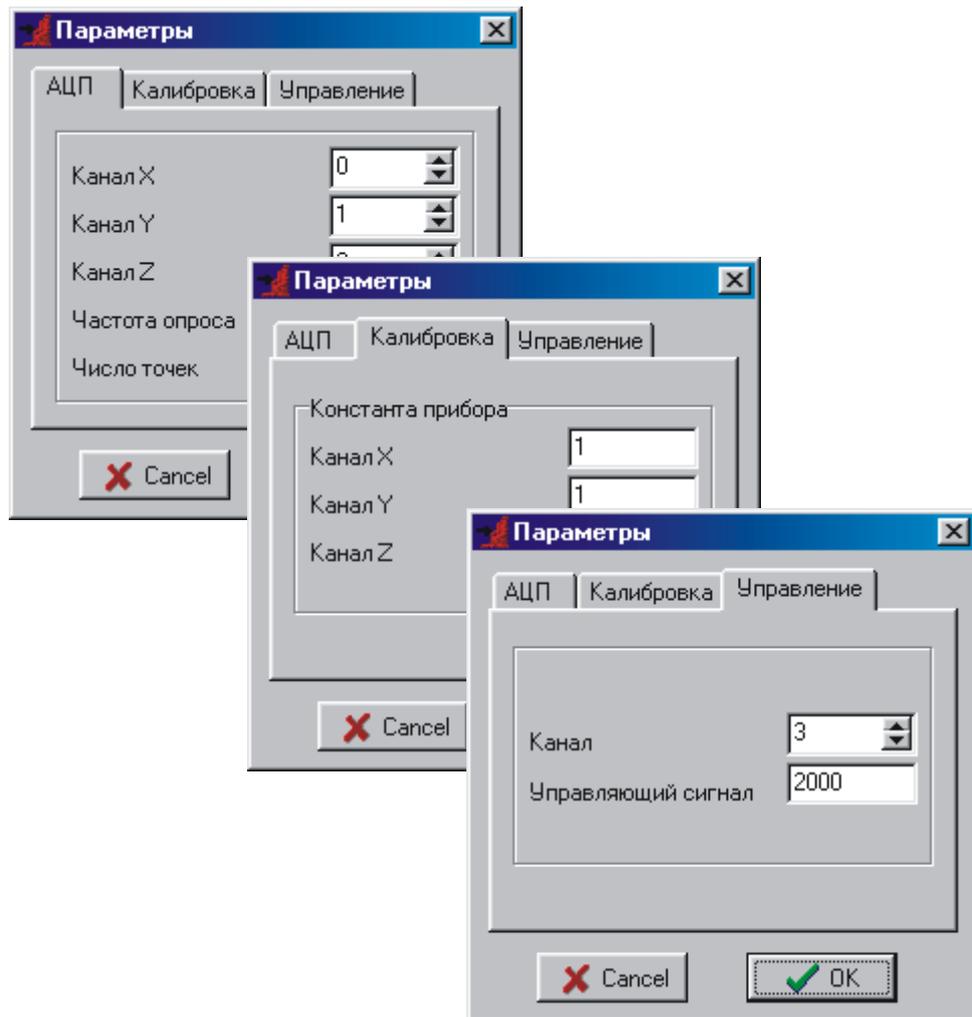


Рис. 2. Установка параметров программы «Infra Red»

Кафедра высокоэнергетических процессов

Определение силы излучения пиротехнических составов в ИК-диапазоне

Методические указания к лабораторной работе

Дмитрий Владимирович Королев
Осташев Владимир Борисович
Константин Александрович Суворов

Отпечатано с оригинал макета. Формат 60×90. ¹/₁₆.
Печ. л. 1,56. Тираж 75 экз.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), ИК «Синтез»

198000, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 26