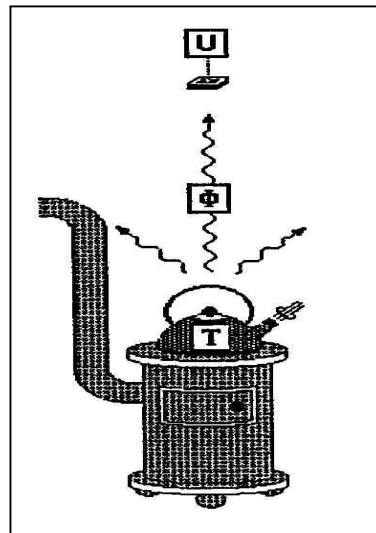


1 Физические основы бесконтактного измерения температуры

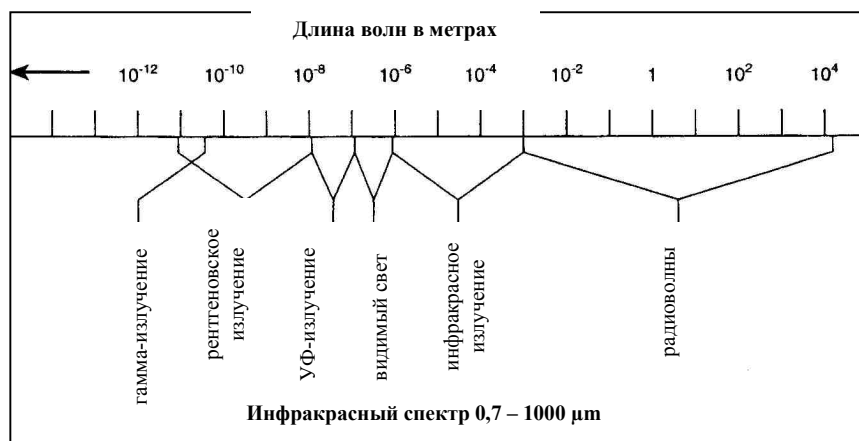
1.1 Введение

Любое тело с температурой T выше абсолютного нуля $T_0 = -273^\circ\text{C}$ испускает из-за движения атомов и молекул электромагнитное излучение.

Измерительные приборы, определяющие температуру по этому инфракрасному излучению, именуются инфракрасными термометрами, пирометрами излучения или сокращенно пирометрами.



Диапазон длины волн, который является значимым для бесконтактного измерения температуры, составляет приблизительно $0,5 - 20 \mu\text{m}$. В этом диапазоне излучение по своей природе обозначается как тепловое излучение или инфракрасное излучение.



2. Определение и факторы влияния коэффициента излучения

2.1. Влияние коэффициента излучения

Интенсивность инфракрасного излучения наряду с температурой также зависит от материала и свойств поверхностей объекта измерения. Каждый материал имеет определенную способность испускать инфракрасное излучение. Способность излучения характеризуется постоянной материала, так называемым "коэффициентом излучения". Эта способность пересчитывается на идеальный излучатель или "Черный излучатель".

Коэффициент излучения идеального излучателя = 1.

Коэффициент излучения реального излучателя < 1

$$\varepsilon = \frac{\Phi_R}{\Phi_S}$$

Φ_S Инфракрасное излучение черного излучателя

Φ_R Инфракрасное излучение реального излучателя

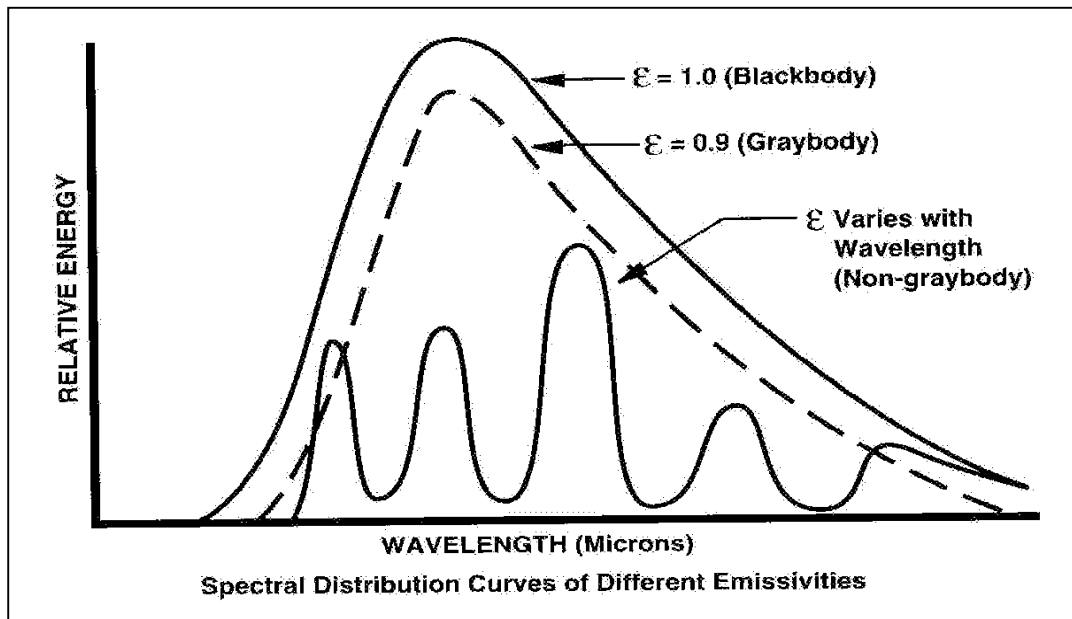


Рис. 1: Черный излучатель / серый излучатель / цветной излучатель

Пониженное излучение реального излучателя компенсируется пирометром посредством установки коэффициента излучения.

Чем меньше установленный коэффициент излучения, тем выше индикация температуры.

2.2. Факторы, влияющие на коэффициент излучения

В итоге, коэффициент излучения, который описывает свойства излучения материала, зависит от следующих факторов:

- a) $\varepsilon = f(\text{материал})$
- b) $\varepsilon = f(\lambda)$
- c) $\varepsilon = f(\text{температура})$

к а) $\varepsilon = f(\text{материал})$

Коэффициент излучения среди прочего зависит от материала, поверхностей объекта и агрегатного состояния.

Металлы часто имеют низкий коэффициент излучения, который очень зависит от свойства поверхностей. Светлые металлы имеют низкий коэффициент излучения. Посредством изменения поверхности в процессе производства или обработки, к примеру, окалины, образования оксидного слоя, потускнения, коэффициент излучения может очень сильно возрасти.

Черный металл и сталь в твердом состоянии лучше подвергать коротковолновому измерению, так как коэффициент излучения у коротких длин волн выше.

К б) $\varepsilon = f(\lambda)$

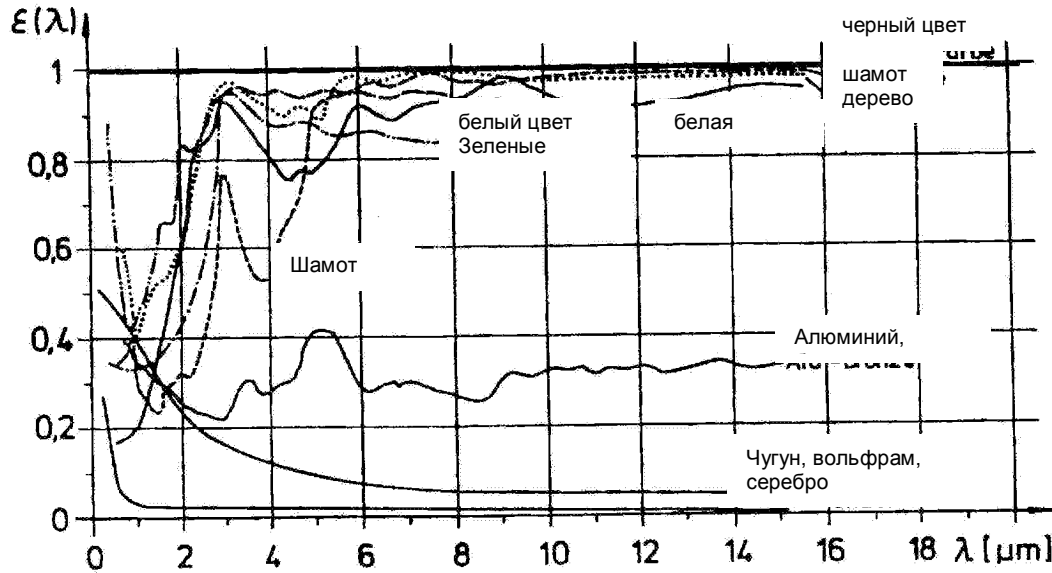


Рис. 2: Коэффициент излучения различных материалов в зависимости от длины волн

Длина волн, при которой работает соответствующий параметр, также влияет на коэффициент излучения. Это свойство значительно ограничивается на металлах. Чистые металлы при более коротких волнах обладают лучшими излучающими способностями. Уже по этой причине действует основное правило, в любом случае проводить измерение с наиболее короткими волнами.

Неправильно установленный коэффициент излучения ведет к индикации температуры, которая отличается от истинной температуры. Если коэффициент излучения установлен слишком высоким, индикация слишком низкая и наоборот. Величина этого отклонения также зависит от длины волн пирометра.

Из физических формул излучения следует, что влияние неправильно установленного коэффициента излучения у пирометров с короткими длинами волн более незначительно. Также из этого получается, что измерение должно осуществляться как можно более волнообразно.

Вывод

- У металлов коэффициент излучения падает с увеличением длины волн.
- Из-за экспоненциального характера колебания коэффициента излучения оказывают более сильное воздействие при более низком абсолютном коэффициенте излучения.
- Чем более узкополосным является диапазон длин волн пирометра, тем меньшее воздействие оказывают изменения коэффициента излучения в зависимости от температуры при измерении на "Цветных излучателях".

- Чем более коротковолново измеряет пирометр, тем более нечувствительно он реагирует на колебания коэффициента излучения или пропускные потери через атмосферу в ходе лучей.

К с) $\varepsilon = f(\text{температура})$

Свойства излучения конкретно у металлов также зависят от температуры.

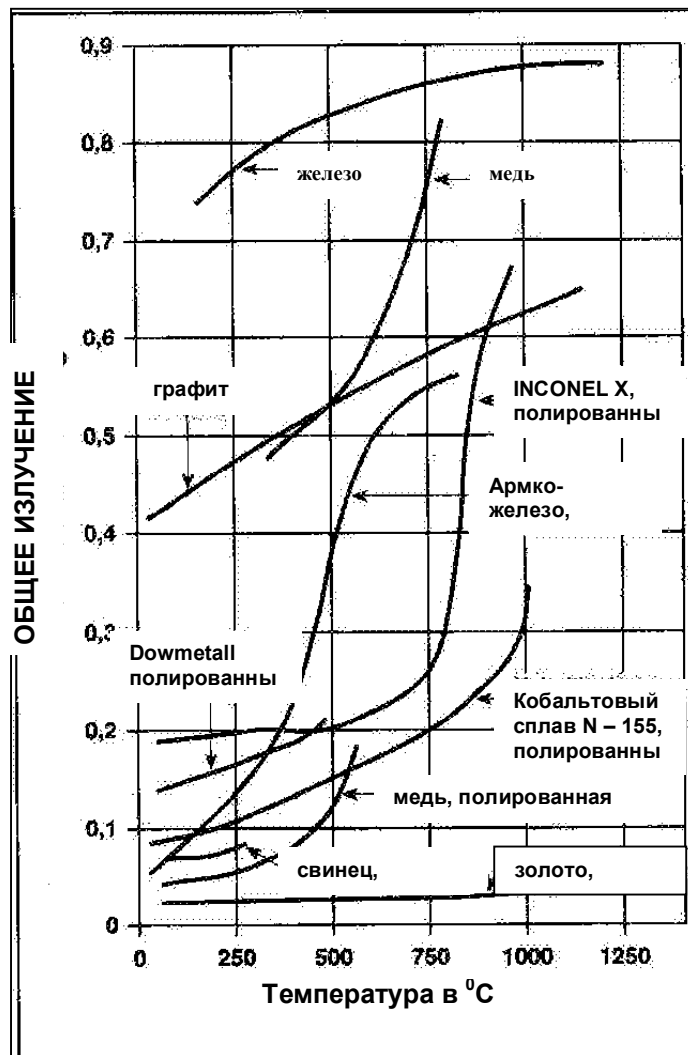


Рис. 3: Изменение коэффициента излучения различных материалов в зависимости от температуры

В большинстве случаев коэффициент излучения нарастает с ростом температуры. К примеру, светлые металлы при низких температурах имеют такой низкий коэффициент излучения, что энергия является слишком низкой, чтобы осуществить пирометрическое измерение температуры.

При нагреве металла выше точки накаливания изменяется структура и тем самым также и коэффициент излучения. В этом состоянии металлы очень хорошо измеряются при коэффициенте излучения около 80%.

Коэффициент излучения снова значительно уменьшается, когда металл плавится. При плавке металла снова меняется структура таким образом, что коэффициент излучения сокращается до 35%.

При измерении расплавленного металла возникают кроме этого другие проблемы, так как поверхность плавления часто покрыта оксидным слоем, который в свою очередь имеет более высокий коэффициент излучения. Получается поверхность с постоянно меняющимися коэффициентами излучения.

Цветные металлы имеют как правило очень плохие свойства излучения, так что осуществление пирометрического измерения температуры достаточно сложно.

Вывод:

Для низкого диапазона температуры:

Светлые поверхности имеют очень низкий коэффициент излучения и тем самым высокий коэффициент отражения. Оксидированные поверхности имеют высокий коэффициент излучения.

Для раскаленных металлов:

Высокий и постоянный коэффициент излучения, так что измерение может быть успешно реализовано.

При плавке металла:

Измерение очень затруднено, так как расплавленный металл имеет очень низкий коэффициент излучения и на поверхности очень быстро образуются оксиды и шлаки, которые приводят к слишком сильным колебаниям коэффициентов излучения и неустойчивым соотношениям коэффициентов излучения. Хорошие результаты получаются при литейном струйном измерении (Ключевое слово "Литейное струйное измерение" / Ardoptix Q).

3 Критерии выбора пирометров

3.1 Диапазон измерения /длина волн

Принципиально предпочтение отдается приборам с более короткой длиной волн перед длиноволновыми с тем, чтобы минимизировать ошибки измерения из-за паразитных влияний.

Но так как коротковолновый измерительный пирометр все же обладает высокой начальной температурой, то в зависимости от сферы применения и требуемой точности выбрать диапазон длины волн.

3.2 Оптика с фиксированной фокусировкой или фокусируемая оптика

Принципиально можно выбирать между пирометрами с оптикой с фиксированной фокусировкой с предварительно установленным фокусным расстоянием и фокусируемой оптикой с настраиваемым фокусным расстоянием (интервал измерения). У пирометров с оптикой с фиксированной фокусировкой, которые часто работают в интервале измерения фокусного расстояния, при других расстояниях объектов отображает нечетко. Следствием этого является то, что точный размер измерительного пятна определяется неверно.

Данные размера измерительного пятна на характеристике измерительного поля свидетельствуют, что относительно измерительного пятна, к примеру, 90% энергии излучения фиксируется пирометром. Для 95% энергии излучения все же необходимо минимум вдвое большее измерительное пятно. Поэтому пирометры с оптикой с фиксированной фокусировкой скорее подходят для больших объектов измерения. У малых объектов измерения или больших интервалах измерения предпочтение отдается пирометрам с фокусируемой оптикой.



ARDOCELL PS с оптикой с фиксированной фокусировкой



ARDOCELL PZ с фокусируемой оптикой

4 Признаки и особенности пирометров Siemens

4.1 Общий обзор серий пирометров

	Стационарные			Портативные	
Серия	ARDOCELL PS 	ARDOCELL PZ 	ARDOCOL & ARDOMETER MPZ 	ARDOPTIX 	ARDOPORT 
Конструкция	маленький & компактный	Просветный визир			надежный & точный
Число типов	40	50	16 & 14	12	12
Низкотемпературный (-30...1000°C)	PS 1X	PZ 10	MPZ10		PT 1X
Высокотемпературный (180...3000°C)	PS 2X / 3X	PZ 20 / 30	MPZ 20/ 30	PT 50 / 60	PT 20
Стеклянная поверхность у высокотемпературных	PS 4X				
Логометрические пирометры		PZ 40 / 50	MPZ 40/ 50	PT 70	
Световодные пирометры	PS 36	PZ 21 / 41			
Пирометры с нитью накала				PV 11	

5 Новые разработки и тенденции

5.1 Сенсорика

- длинноволновые фотодиоды для измерения на металлических поверхностях при низких температурах
- длинноволновые сэндвич-фотодиоды для логометрических пирометров с низкими начальными температурами $> 500^{\circ}\text{C}$

5.2 Интерфейс Profibus

6. Обзор вариантов применения с указаниями по решению

6.1. Измерение в канале доменной печи

Указание по решению: Логометрический пирометр с маленьким измерительным пятном
Двойная память максимальной величины

6.2. Измерение в стане горячей прокатки

6.2.1. Регистрация температуры проката в вальцовочном устройстве

Указание по решению а: Логометрический пирометр при неблагоприятных условиях производства

Указание по решению б: коротковолновый спектральный пирометр с маленьким измерительным пятном и встроенной памятью максимальной величины

6.2.2. Позиционная идентификация проката

Указание по решению а: IR-переключатель PS 122 до окружающей температуры < 65°C

Указание по решению б: Световодный пирометр при окружающей температуре до 250°C

6.2.3. Регистрация температуры печи непрерывного действия

Указание по решению для зумпфа печи нагрева: спектральный пирометр

Указание по решению для измерения продукта в литнике печи:
низкотемпературный компактный пирометр PS

6.3. Измерение температуры в установках непрерывного литья

6.3.1. Измерение во вторичной камере или в тяжело доступных местах

Указание по решению: PS-/PZ-пирометры со световодной оптикой и специальными монтажными и защитными арматурами

6.3.2. Измерение вне вторичной камеры

Указание по решению: коротковолновый спектральный пирометр с маленьким измерительным пятном и двойной памятью максимальной величины

7. Подробное описание с комментариями по практической работе с коэффициентом излучения

7.1. Управление коэффициентом излучения

Коэффициент излучения в большинстве случаев является неизвестной величиной. Точная величина не известна. Часто возникает вопрос:

„Каков точный коэффициент излучения с тем, чтобы можно было провести точное измерение?“

Точное определение коэффициента излучения может быть осуществлено только через сравнительное измерение. Сравнительная температура проводится через проверенное измерение. Является ли эта сравнительная температура истинной температурой и были ли исключены все источники ошибок при измерении температуры зондом, в каждом случае оценивается отдельно.

В промышленных процессах производства на переднем плане часто находится не абсолютная температура, а много более высокая **воспроизводимость**. Измерительная система должна поставлять при равных условиях равные температурные значения. Вне зависимости от абсолютной температуры эмпирически вычисленные величины (температуры) являются основными параметрами для высокого качества производства. Измерены ли эти величины в °Celsius, °Müller или °Schmidt не играет существенной роли.

Если следовать этой философии, часто вообще отказываются от установки коэффициента излучения. Сознательно принимая неправильное температурное значение удается избежать путаницы с различно установленными коэффициентами излучения. Если на одной установке работают несколько пирометров с различными установленными коэффициентами излучения, то это может привести к путанице, если приборы будут перепутаны между собой или демонтированы для калибровки.

Измерение при температуре объекта = окружающая температура

Пирометрическая вычисленная температура в общем и целом зависит от коэффициента излучения измеряемого материала. Следующим фактором является отражаемое излучение из окружения. Коэффициент отражения r следует вместе с коэффициентом излучения e . Сумма этих двух факторов дает в результате 1 (пренебрегая пропусками).

$$e + r = 1$$

Чем меньше является коэффициент излучения, тем выше коэффициент отражения. При уменьшении коэффициента излучения и вместе с тем интенсивности эмитированного излучения в той же мере возрастает интенсивность отражаемого излучения.

Если температуры объекта и окружения являются идентичными, коэффициент излучения больше не играет роли, так как пирометр не различает, какая часть отражается от объекта, а какая от окружения. Сумма остается идентичной.

В этих соотношения речь идет о "Черном излучателе"; идеальном излучателе с коэффициентом излучения 1.

7.2. Измерение температуры материалов с малым коэффициентом излучения в печах непрерывного действия

Бесконтактное измерение температуры плохо излучаемых материалов в печах предъявляет высокие требования к измерительному устройству. Измерение материалов с низким коэффициентом излучения в принципе не вызывает проблем, так как минимальное излучение можно компенсировать установкой коэффициента излучения на пирометре. Но низкий коэффициент излучения одновременно имеет следствием высокий коэффициент отражения; тем самым паразитное излучение из окружения отражается на листе к пирометру. При коэффициенте излучения, к примеру, в 35% принимаемый пирометром сигнал на 65% состоит из паразитного излучения (при равной температуре). Если температура внутренней полости печи выше чем температура листа, то соотношения являются еще более экстремальным.

В этом случае использования логометрический пирометр действует следующим образом. Логометрический пирометр благодаря своему принципу измерения компенсирует изменяемые коэффициенты излучения, которые вызываются различной структурой поверхностей. Этот факт говорит за использование логометрических пирометров.

Контраргументом является то, что логометрический пирометр более чувствителен к паразитному излучению. Если, к примеру, логометрический пирометр обнаруживает в диапазоне частичного освещения ослабленную интенсивность излучения высоких температур, то отражаемое излучение в этом случае является причиной массивного влияния на измеряемую величину.

Оба метода в этом случае измерения используются на практике. Решающим здесь является величина паразитных влияний, которые должны уравновешивать друг друга.

7.3. Пирометрическое измерение температуры в нагревательной печи / методической печи

Пирометрическое измерение температуры в нагревательных печах позволяет колоссально повысить эффективность печи.

При первом рассмотрении задачи измерения кажется, что пирометр не является подходящим прибором для контроля температуры в нагревательной печи:

Как правило мы имеем дело с материалами, которые обладают очень низким коэффициентом излучения. Окружающая температура, которая является более высокой, чем температура материала, ведет к высокой доле отражаемого излучения.

$$T_u > T_{Mat}$$

Целью процесса закалки является доведение материала до температуры прокаливания за как можно более короткое время, не перегревая его при этом.

В процессе нагрева окружающая температура выше температуры материала.

Если температура материала измеряется пирометрическим методом ($\epsilon = 1$), то истинная температура материала гарантированно является меньшей, чем индикация на пирометре, независимо от точного коэффициента излучения материала. Пирометр измеряет температуру материала и частично из-за отражения окружающую температуру; тем самым якобы среднюю температуру. С учетом того, что материал холоднее, чем окружающая среда, гарантируется, что актуальная температура материала ниже чем температурная индикация и тем самым исключается перегрев материала.

$$T_{Pyro} > T_{Mat}$$

Тем самым в процессе нагрева температура печи может быть значительно выше конечной температуры, при этом можно не опасаться того, что произойдет перегрев материала. Постоянно осуществляется непрерывный контроль температуры материала.

Из-за более высокой температуры печи продукт нагревается быстрее и процесс прокаливания может быть значительно сокращен.

На верхней границе температуры прокаливания осуществляется переключение на атмосферное регулирование для обеспечения однородной температуры.

Благодаря повышенной температуре печи фаза нагрева может быть сокращена почти на 50%.

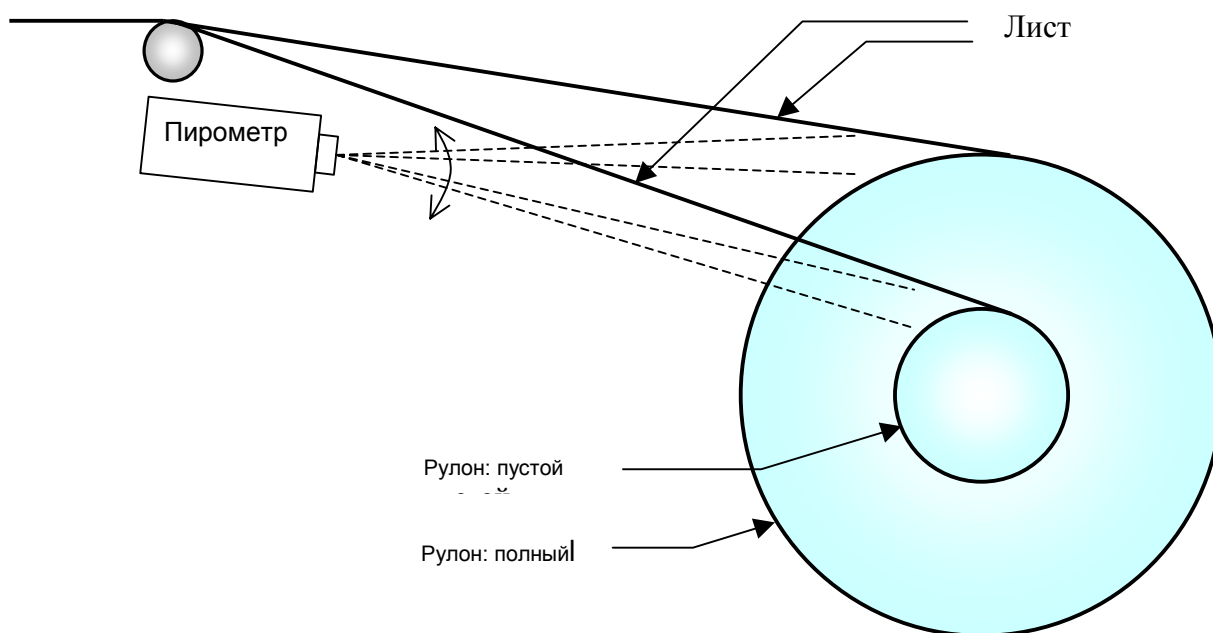
7.4. Бесконтактное измерение температуры на намоточном устройстве

Бесконтактное измерение температуры листового металла в холоднопрокатных станах на выходе является достаточно проблематичной из-за низких температур листа и плохих свойствах излучения (низкий коэффициент излучения). Надежное измерение температуры, поставляющее воспроизводимые параметры, реализуется на основе пирометра излучения и сканирующей насадки.

Измерение осуществляется в просвете рулона на намоточном устройстве. В просвете рулона из-за геометрического расположения благодаря многократному отражению получается искусственное увеличение коэффициента излучения. В этом месте имеются наилучшие условия для измерения температуры листа, так как благодаря этим улучшенным свойствам излучения имеется достаточно сильный лист и кроме того исключено влияние чуждого излучения отражения (см. рис. 1).

Сканирующая насадка необходима для того, так как позиция просвета сдвигается при изменении диаметра рулона. Пирометр непрерывно зондирует диапазон наименьшего и наибольшего диаметра. Во время интервала сканирования пирометр так же проходит через просвет рулона и обнаруживает в этом месте благодаря хорошим свойствам излучения пик сигнала.

Пирометр имеет внутреннее ЗУ максимальной величины с системой самоудаления через определенный интервал времени. С помощью этой функции из прерывистого сигнала, содержащего пики сигнала, производится непрерывный температурный сигнал 0...20 мА, который оседает на пики.



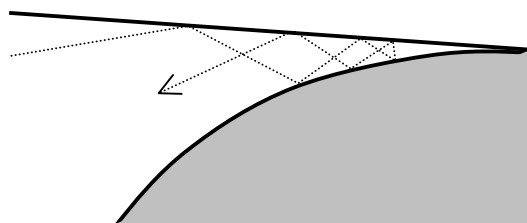
Причиной искусственного увеличения коэффициента является многократное отражение. Получаемое из отвизированного места листа излучение только приблизительно на 15% состоит из собственного теплового излучения и на 85% из отраженного излучения из окружения. Происхождение отражаемого листом излучения обусловлено самой геометрией листа. Так же и это излучение в свою очередь состоит из собственного излучения и отраженного излучения, которое снова исходит от листа. Таким образом общее излучение большей частью состоит из собственного излучения листа и отраженного излучения, которое также исходит от листа. Происходит искусственное увеличение коэффициента излучения.

Из этого можно сделать следующие выводы:

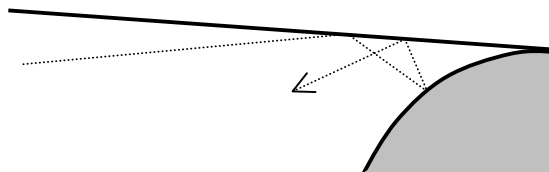
- Чем больше рулон, тем более узким является просвет.
- Чем более узким является просвет, тем большим является число многократных отражений.
- Чем большим является число многократных отражений, тем интенсивнее искусственно увеличивается коэффициент излучения.
- Чем выше коэффициент излучения, тем выше температурный сигнал, принимаемый пирометром.

В итоге следует, что чем больше диаметр рулона, тем выше индикация температуры. Система управления на основе актуального диаметра рулона может осуществить коррекцию измеряемой величины.

При опытных измерениях предположительно благодаря этому эффекту рассогласование температур составляет лишь 2-3К.



полный рулон



пустой рулон

6.4. Измерение температуры в установках для нанесения покрытий

6.4.1. Измерение в печи

Указание по решению: спектральный пирометр с визирной трубкой с водяным охлаждением

6.4.2. Измерение в шлюзе печи

Указание по решению: Логометрический пирометр в диапазоне длины волн
1 – 2 μm

6.4.3. Измерение на конвейере со стальной лентой

Указание по решению: спектральный пирометр в диапазоне длины волн 2 μm

6.4.4. Измерение на моталке

Указание по решению: длинноволновый спектральный пирометр с панорамно-зеркальной насадкой для измерения в просвет

6.5. Измерение температуры в литейном цехе

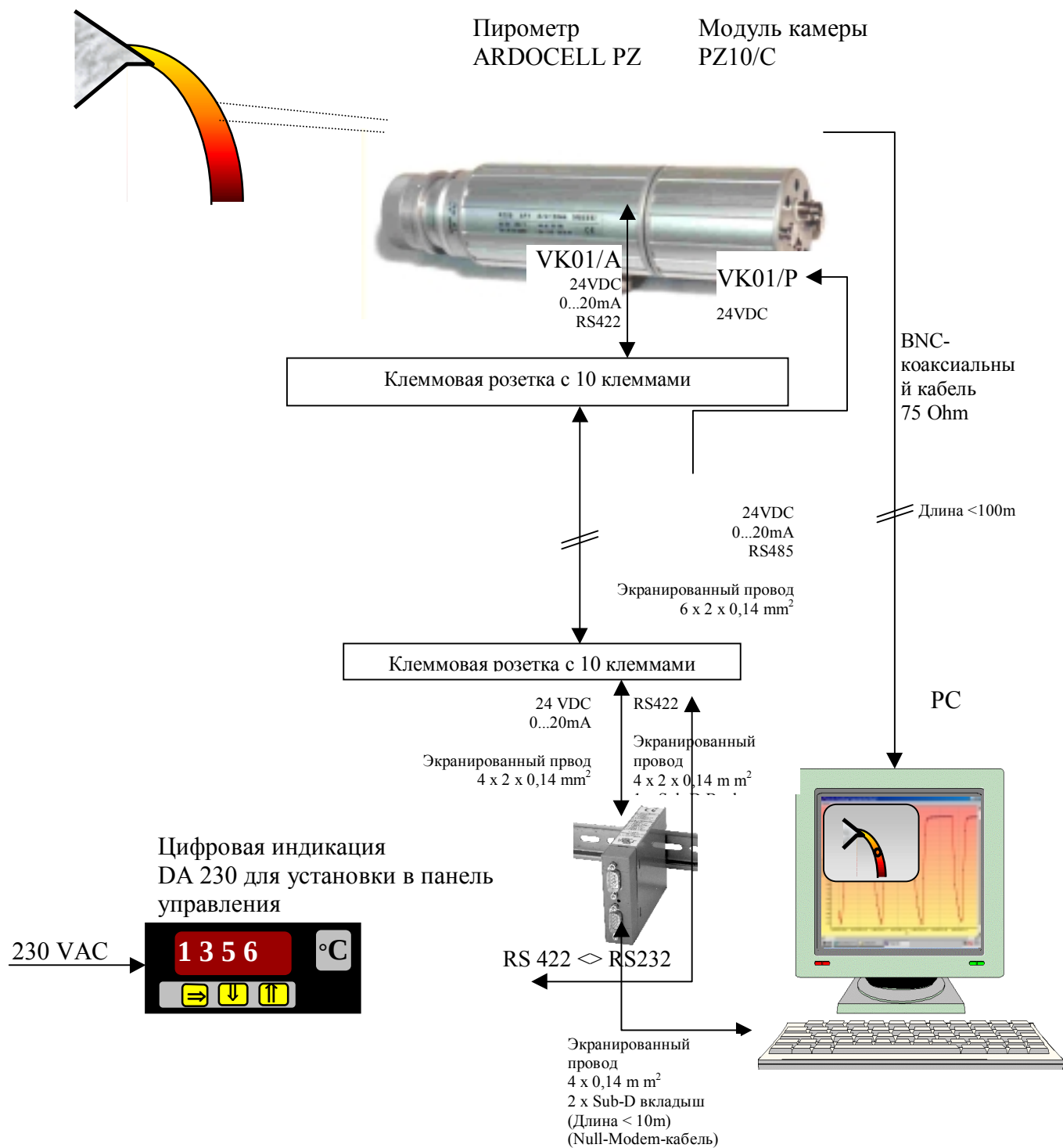
6.5.1. на текучем материале

Указание по решению: Логометрический пирометр с маленьким измерительным пятном и подключаемой индикации литейного луча для исключения паразитных влияний и подготовки измеряемых величин

6.5.2. Формовочная земля конвейерной ленте

Указание по решению: Компактный пирометр с оптикой, настроенной на ширину ленты

5.3 Пирометр со встроенной видеокамерой и соединением с PC



Система видеоконтроля

как насадка для пирометров серии ARDOCELL PZ



Особенности:

- Автономная видеосистема для установки на все пирометры серии PZ с просветной оптикой
- Постоянная возможность контроля места измерения и правильного юстирования пирометра на объект измерения с пульта управления
- Представление области измерения и точного измерительного пятна пирометра
- Дистанционный контроль производственного процесса или камеры сгорания
- Юстировочная помощь пирометра в тяжело доступных местах измерения и на маленьких объектах измерения
- Шарнирное устройство с дистанционной установкой для юстирования пирометра с пульта управления
- Очень компактная конструкция (Ø 65 x 235 mm вкл. пирометр)
- Очень высокая светочувствительность (от 0.4 lux)
- Простое подсоединение имеющихся видео- или вычислительных систем
- Крепкая промышленная конструкция
- Видеосигнал передается на расстояние до 100 м без дополнительного усилителя

4.2 Общие особенности всех пирометров

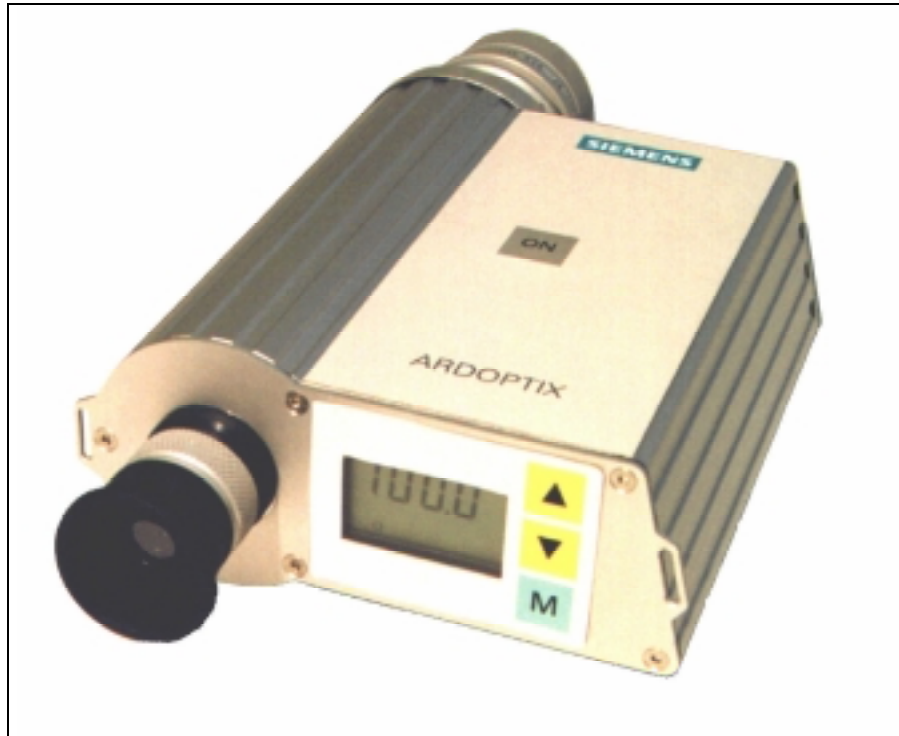
- ◆ Использование новейшей сенсорной техники постоянного света для преобразования инфракрасного излучения в электрический сигнал, что означает - отсутствие подвижных компонентов и тем самым нет необходимости технического обслуживания и долговечность.
- ◆ Компактные конструкции с очень крепкими металлическими корпусами (нержавеющая сталь или алюминий) и класс защиты IP 65 – тем самым возможно безопасное использование в неблагоприятных производственных условиях.
- ◆ Использование исключительно негигроскопических материалов линз и тем самым исключается повреждение линз при высокой влажности воздуха.
- ◆ Очень высокая EMV - помехоустойчивость; превосходит требования даже самых строгих промышленных норм.
- ◆ Использование новейшей процессорной техники, что означает – высокая точность измерения благодаря цифровой многоточечной линеаризации.
- ◆ Оптика пирометров с просветными визирами со специальной конструкцией системы линз, которые осуществляют цветовую коррекцию как видимого, так и инфракрасного излучения; в инфракрасном и видимом диапазонах совпадающие и очень четко отображаемые измерительные пятна.
- ◆ Устанавливаемый коэффициент излучения для согласования пирометра с особенностями излучения объекта измерения.

4.3 Характерные особенности пирометров - серия ARDOPORT



- Диапазоны измерения $-30 \dots 1999 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Крепкий алюминиевый корпус с классом защиты IP 65
- Высокое разрешение $1/10^{\circ}\text{C}$
- Встроенная память данных для 64 измеряемых величин
- Передача измеряемых величин через модуль передачи данных Adaptix C на PC
- LED-подсветка или визирная помощь с маркировкой измерительного пятна для распознавания истинной величины измерительного пятна
- По выбору комби-термометры для бесконтактного и контактного измерения (PT-1000 - зонд или зонд-термоэлемент)
- Приборы до $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ поставляются также и с конструкцией повышенной взрывобезопасности
- Автоматическое отключение, контроль батарей, установка коэффициента излучения, память максимальной и минимальной величин

4.4 Характерные особенности пирометров – серия ARDOPTIX



- Диапазоны измерения 250 ... 2500°C
- Спектральная конструкция и логометрическая конструкция
- Фокусируемая и заменяемая сменная оптика
- Боковой просветный визир с маркировкой измерительного пятна и большой зоной видимости
- Пыле- и водонепроницаемый алюминиевый корпус (класс защиты IP 65)
- Последовательный интерфейс RS 232
- Индикация измеряемой величины параллельно в просветном визире и на многофункциональном дисплее
- Память данных для 200 измеряемых величин
- Коррекция коэффициента излучения, память максимального и минимального значения, автоматическое отключение, контроль батарей

4.5 Характерные особенности пирометров - серия ARDOCELL PS



ARDOCELL PS компактная конструкция

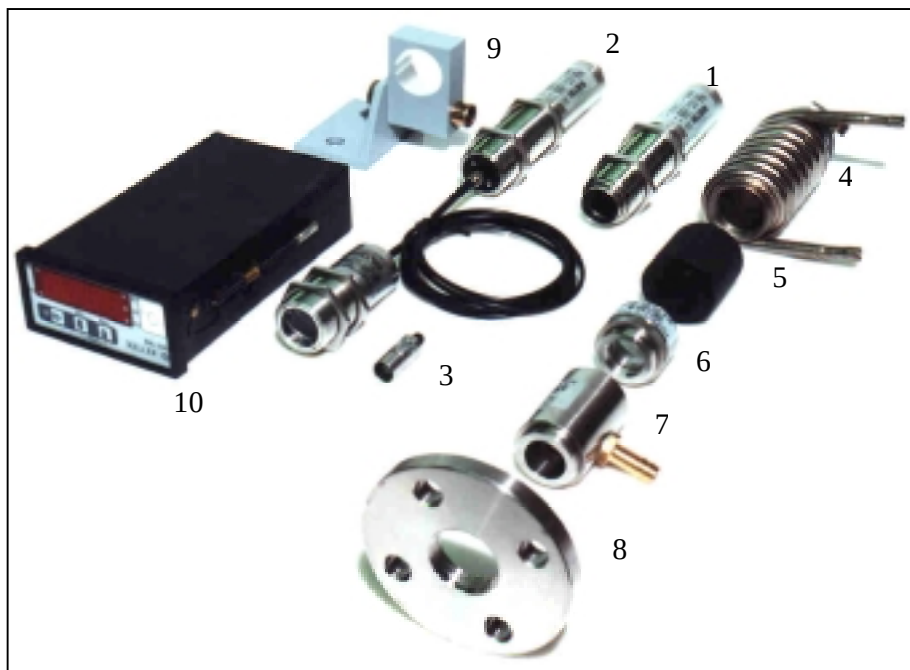
ARDOCELL PS световодная конструкция

- Диапазоны измерения: $-30 \dots + 2500^{\circ}\text{C}$
- Крепкий корпус из нержавеющей стали $\varnothing \text{ M30} \times 190 \text{ mm}$
- Не гигроскопический материал линз
- Внешняя настройка коэффициента излучения
- Очень короткое время срабатывания
- Внешнее переключение аналогового выхода между 0(4) - 20 mA
- Высокая точность измерения благодаря цифровой линеаризации (400 критических точек)
- Штепсельное соединение

4.6 Арматурная программа пирометров серии ARDOCEL PS

Богатый ассортимент арматуры и принадлежностей предлагает пирометру всеобъемлющую защиту для использования даже при неблагоприятных окружающих условиях.

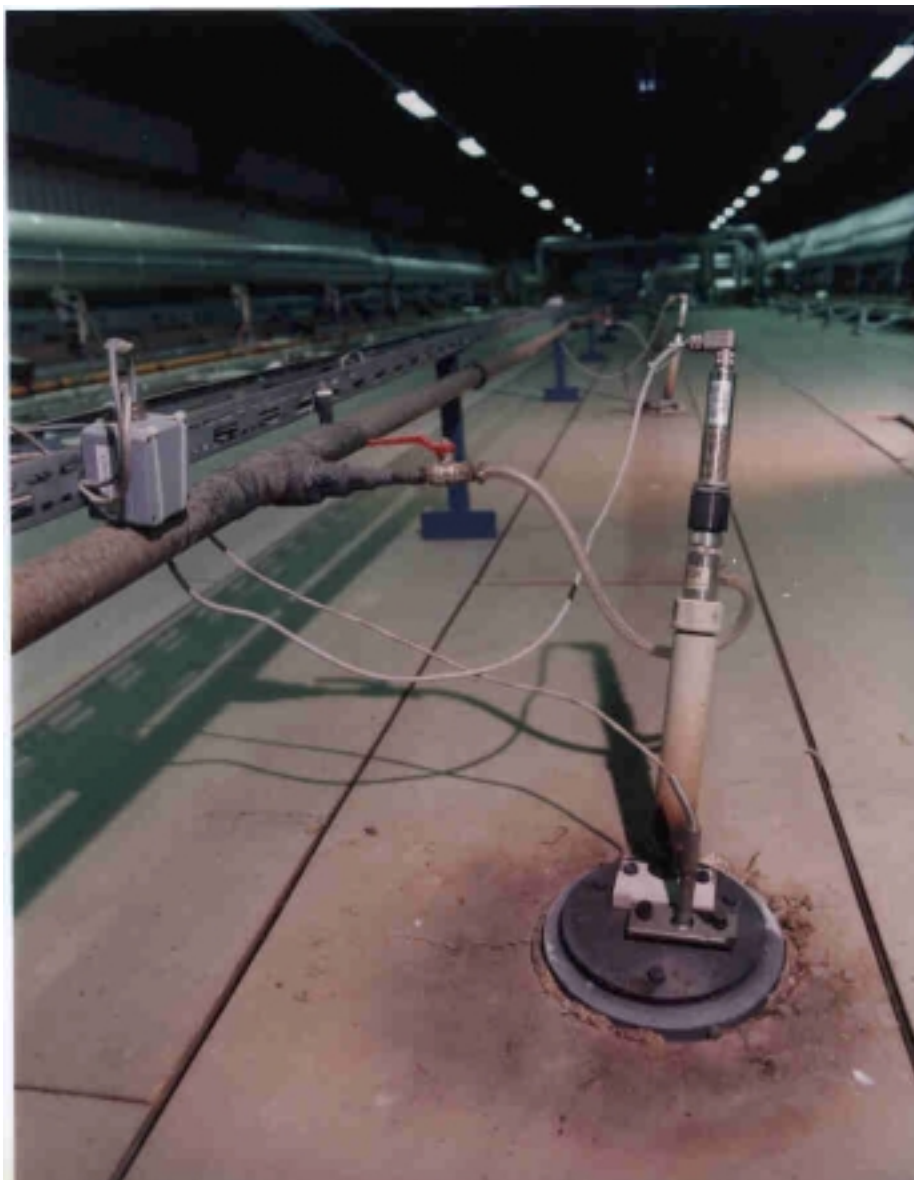
- (1) Пирометр PS в цилиндрическом корпусе из нержавеющей стали с наружной резьбой M-30.
- (2) Пирометр Тип PS 36 со световодной оптикой для использования при высоких окружающих температурах до 250°C без охлаждения. Alternativ Mini-Optikkopf mit Ø 12 mm
- (3) Охлаждающая рубашка PS01/B для защиты пирометра при высоких окружающих температурах.
- (4) Тепловой затвор PS01/K предотвращает теплопроводность от теплых арматур к пирометру.
- (5) Защитная шайба из кварцевого стекла Тип PS01/I или из ZnS Тип PS11/D для защиты линзы от загрязнения.
- (6) Осевая зазорная форсунка PS01/A приводится в действие сжатым воздухом. Благодаря конструкции воздушной подушки предотвращается загрязнение оптики или защитной шайбы.
- (7) Соединительный фланец PZ20/F для торцевого монтажа пирометра.
- (8) Монтажный уголок PS11/K для простого монтажа пирометра.
- (9) Свободно программируемая цифровая индикация DA230 подает 24 VDC напряжение питания для пирометра и обладает множеством дополнительных функций



Пример печного монтажа ARDOCELL PS

Арматурный набор демонстрирует комбинацию для монтажа на крышке печи для измерения температуры продукта в печи. Арматурный набор демонстрирует комбинацию для монтажа на крышке печи для измерения температуры продукта в печи. Пирометр PS осуществляет внешнее прямое измерение температуры продукта. Тепловой затвор из пластика предотвращает передачу к пирометру. Защитная шайба из кварцевого стекла предотвращает попадание посторонних веществ и агрессивных газов на оптику. Осевой диффузор предотвращает загрязнение защитной шайбы. В дистанционной трубе образуется воздушная прослойка, которая предотвращает проникновение посторонних веществ. Набор крепится с помощью юстировочного фланца и пирометр может быть отъюстирован с помощью шарового шарнира.

Конструкция PS 36 со световодом используется при высоких окружающих температурах, когда не используется водяное охлаждение. Оптическая головка и световод могут подвергаться нагрузке до 250°C.



4.7 Характерные особенности пирометров - серия ARDOMETER, ARDOCOL и ARDOCELL PZ



ARDOMETER / ARDOCOL MPZ



ARDOCELL PZ

Общие особенности

- Диапазоны измерения 0 – 3000°C
- Очень большие, устанавливаемые диапазоны измерения
- Выходы: выход тока и цифровой интерфейс (по выбору RS 232 или RS 422/485)
- Конфигурация через поворотный выключатель или интерфейс (программное обеспечение встроено в пирометр)
- Высокая точность и очень короткое время срабатывания
- Спектральные и логометрические пирометры

Конструкция с просветной оптикой

- Просветный визир с большим полем обзора с маркировкой измерительного пятна для распознавания истинного размера измерительного пятна
- Фокусируемая оптика
- Многообразие вариантов оптики благодаря накручиваемой сменной оптике и дополнительным накручивающимся линзам для различных вариантов использования
- Взаимозаменяемая сменная оптика (стандартная, ближняя, широкоугольная, телескопическая) тем самым минимальные затраты на запасные части

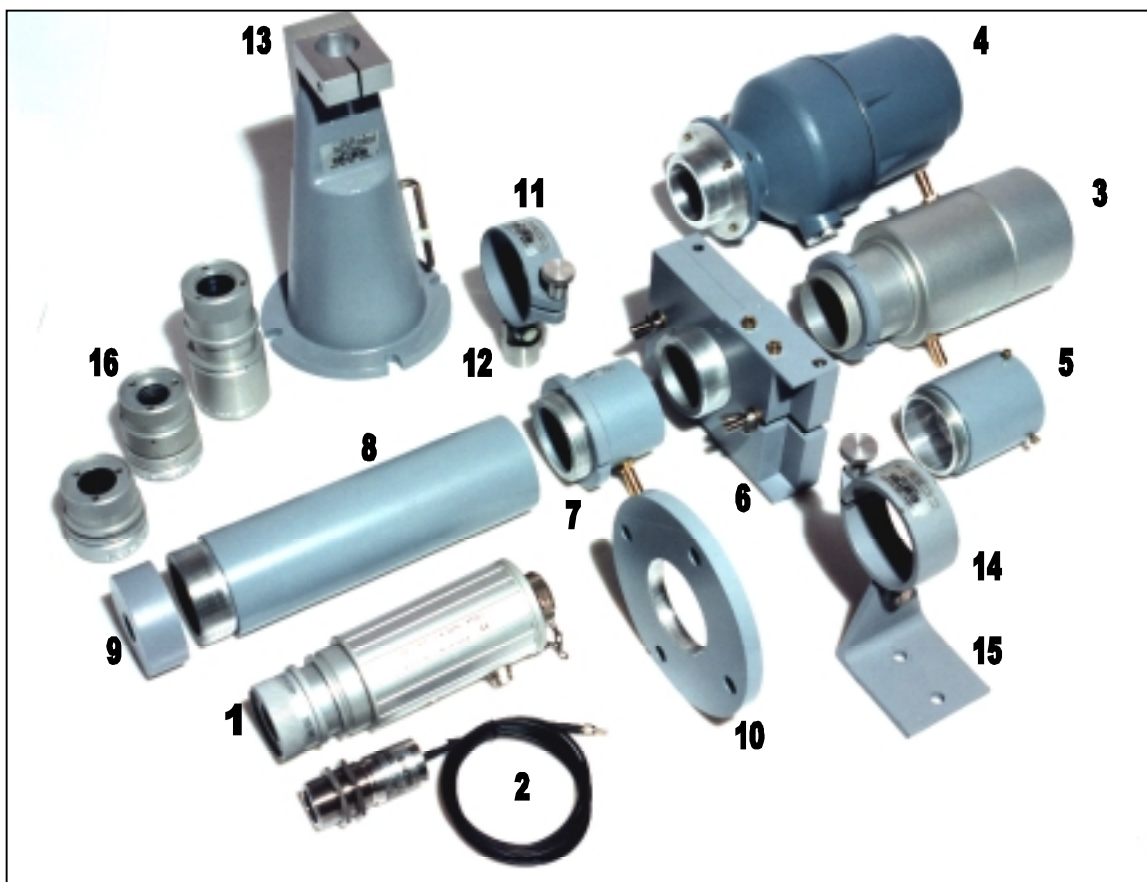
Световодная конструкция

- Световоды с обеих сторон освобождаются благодаря винтовому соединению
- Фокусируемые измерительные головки Ø M30 или Ø 12 mm

- Встроенная подсветка для представления истинных размеров измерительного пятна

4.8 Арматурная программа пирометров – серия ARDOCEL PZ

Для пирометров серии PZ имеется широкий ассортимент арматуры для того, чтобы обеспечить применение даже в самых неблагоприятных окружающих условиях. Крепежные компоненты завершают предложение.



(1) Пирометр серии PZ с просветной оптикой

(2) Световод

с измерительной головкой $\varnothing 30\text{mm}$ (как альтернатива $\varnothing 12\text{mm}$; без рисунка).
Световод выдерживает температуру до 85°C (как альтернатива с металлическим армированием до 250°C)

(3) Охлаждающая рубашка PZ20/B:

Работающая с помощью воздуха или воды охлаждающая рубашка окольцовывает пирометр и обеспечивает защиту при высоких окружающих температурах до 200°C . Кроме этого рубашка предоставляет механическую защиту для измерительного прибора.

Охлаждающая рубашка PZ20/M (без рисунка):

Как и PZ20/B, но с закрываемой крышкой на обратной стороне арматуры (для полной капсуляции пирометра).

(4) Корпус категории повышенной взрывобезопасности PZ20/Y:

Для капсуляции пирометра с повышенной взрывобезопасностью по классу EEx d IIC T6.

(5) Кольцо-держатель PZ20/E:

Адаптер для крепления арматуры к пирометру при использовании охлаждающей рубашки.

(6) Шарнир для кварцевых колец PZ20/I:

Шайба предотвращает загрязнение оптики пирометра. Для Die Scheibe verhindert das Verschmutzen der Optik des Pyrometers. Для возможной чистки шайбы шарнир откидывается.

(7) Осевой диффузор PZ20/A:

Форсунка продувочного воздуха приводится в действие сжатым воздухом. Благодаря образованию воздушной прослойки во многом предотвращается загрязнение оптики или кварцевого диска.

(8) Дистанционная труба PZ20/C:

Труба увеличивает продувочное действие осевого диффузора посредством образования воздушной прослойки, которая препятствует проникновению посторонних веществ.

(9) Blende PZ20/T:

Диафрагма закрывает набор. Маленькое отверстие увеличивает скорость продувочного воздуха и тем самым усиливает действие.

(10) Фланец PZ20/F:

Для торцевого крепления арматурного набора, к примеру, на наружную стенку печи.

(11) Крепежный зажим PZ20/L:

Зажим с окружностью центров отверстия 65 мм для крепления арматуры.

(12) Крепежный штуцер PZ20/W:

Адаптер от зажима к монтажной части PB08/K.

(13) Монтажная часть PB08/K:

Массивная часть для крепления арматурного набора с возможностью юстирования в горизонтальном и вертикальном направлении.

(14) Крепежный зажим PZ20/N:

Как и PZ20/L, но с окружностью центров отверстия 60 мм для непосредственного крепления пирометра.

(15) Монтажный уголок PZ20/U:

Для простого монтажа пирометра с зажимом PZ20/L или PZ20/N.

(16) Сменная оптика:

Пирометр серии PZ может быть оснащен различной оптикой.

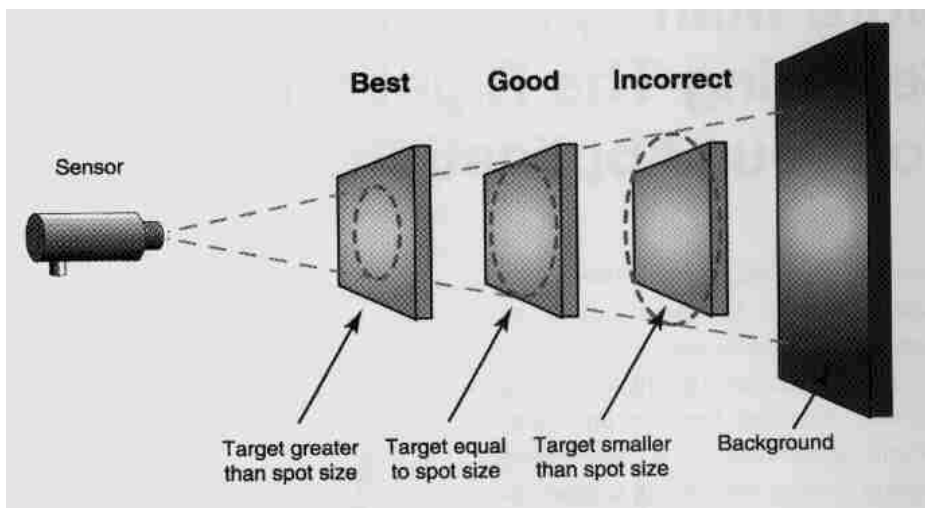
Цифровая индикация DA230 (без рисунка):

Программируемая универсальная цифровая индикация с 24VDC напряжением питания для подсоединения пирометра и множество дополнительных функций.

3.3 Диаметр измерительных пятен / дистанционное соотношение

Диаметр измерительного пятна самое большее может быть таким, как измеряемый объект. С учетом установочного допуска диаметр измерительного пятна пирометра постоянно должен быть выбран меньшим, чем объект.

Частично оптический конус пирометра ограничен диаметром смотровых стекол или смотровых отверстий. Это необходимо учитывать при расчете хода лучей и идеального фокусного расстояния.



Дистанционное соотношение D является коэффициентом из интервала измерения a и диаметра измерительного пятна d пирометра

$$D = \frac{a}{d}$$

Из размера объекта вычисляется максимально допустимый интервал измерения.

У пирометров с оптикой с фиксированной фокусировкой соотношение действительно только для фокусного расстояния. При более удаленных измерениях интервал измерения должен быть выбран максимум на половину меньшим чем рассчитанный интервал.

3.4 Визирная помощь / визирные приспособления

Для юстировки пирометра на объект измерения служат визирная помощь или визирные приспособления.

- а) Просветная оптика с маркировкой измерительного пятна либо вмонтирована в прибор, либо в качестве внешнего прибора.

Преимущество:

Истинный размер измерительного пятна распознается через маркировку на визире. Слишком маленькие объекты измерения или препятствия в смотровом конусе пирометра опознаются непосредственно.

Недостаток:

В случае темных объектов и измерительного окружения измерительное пятно трудно распознается.

б) Интегрированная или внешняя лазерная подсветка

Преимущество:

Точка лазера хорошо распознается на темных объектах или окружающих условиях.

Недостаток:

Точный размер измерительного пятна не виден у однолучевых лазеров. Слишком маленькие объекты измерения или слишком большие расстояния измерения не распознаются.

Точечные лазеры без позиционной коррекции не точно показывают центр измерительного пятна, а только приблизительное направление.

В случае горячих объектов измерения лазер не распознается.

в) Интегрированная или внешняя ламповая подсветка

Преимущество:

Величина светящейся точки соответствует истинной величине измерительного пятна.

Может использоваться на темных объектах или окружении.

Недостаток:

Из-за ограниченной световой мощности распознается только на малых расстояниях до нескольких метров.

г) Пирометры с интегрированной видеокамерой для представления измерительного пятна на внешний монитор.

Преимущество:

Юстировка с точным размером измерительного пятна может контролироваться с главного щита управления на мониторе.

Наряду с чистым измерительным пятном распознается также и измерительное окружение. В закрытых системах пользователь получает визуальную информацию об окружении измерения и условиях измерения (к примеру, во вращающейся трубной печи).

3.5 **Спектральный или логометрический пирометр**

Логометрические пирометры реагируют на однородные помехи в визуальном конусе, как то, к примеру, пар или пыль, менее чувствительно чем спектральные пирометры. При неоднородных мешающих влияниях или селективно меняющихся факторах излучения, к примеру, в зависимости от температуры, логометрические пирометры реагируют частично с более существенными измерительными ошибками чем спектральные пирометры.

Современные логометрические пирометры имеют параллельные или переключающиеся логометрический и спектральный выходы. Тем самым анализ подходящего метода измерения с учетом реальных условий измерения может быть проведен и соответственно настроен на месте.

3.6 **Компактные или световодные измерительные приборы**

Исходя из конструкции можно выбирать между компактными приборами и пирометрами с отдельной оптической измерительной головкой. Последние обладают преимуществом в том, что состоящая исключительно из оптических компонентов измерительная головка может применяться при окружающих температурах до 250°C без охлаждения или в сильных электромагнитных полях. Также и при недостатке места часто проще разместить пирометр со световодной оптикой.

Но все же пирометры со световодами экономически могут быть реализованы только начиная с температуры приблизительно в 350°C.



ARDOCELL PZ со световодной измерительной головкой



ARDOCELL PZ просветная оптика

3.7 **Сигнальный выход**

- ◆ Аналоговый выход 0(4) – 20 mA, 0(2) – 10 V
- ◆ Цифровой интерфейс RS 232
- ◆ Шинный интерфейс RS 422 / RS 484

3.8 *Функции и установочные параметры*

- ◆ Установка коэффициента излучения
 - ◆ Установка диапазона измерения
 - ◆ Запоминающее устройство для максимальной-минимальной величин
 - ◆ Функция сглаживания
 - ◆ Концевые контакты
 - ◆ Контроль внутренней температуры
-

Оценка ошибок измерения при неправильной установке коэффициента излучения

Ошибка измерения при 1% ошибке установки коэффициента излучения

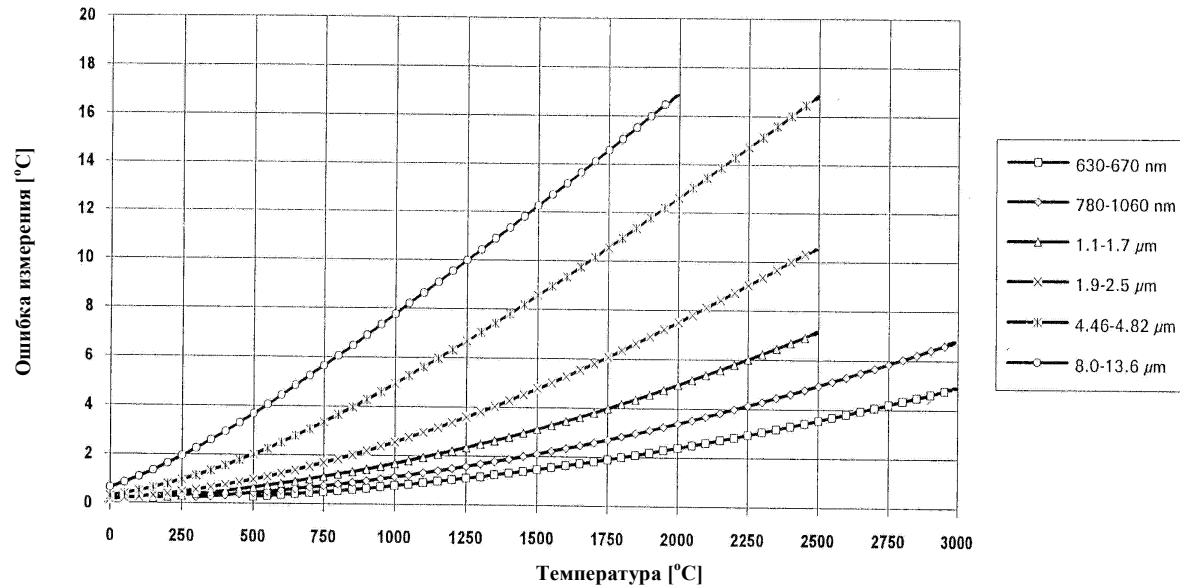


Рис. 3: Количественные ошибки измерения при неправильно установленном или нестабильном коэффициенте излучения в зависимости от длины измерительных волн

Пример: Температура объекта 800 °C
Измерение коэффициента излучения или пропускные потери атмосферы с 90% до 80%.

Пирометр с длиной волн	Погрешность измерения
8 – 14 μm	около 65 °C
1,7 – 1,7 μm	около 12 °C
0,9 – 1,1 μm	около 7 °C

2.3. Ошибки измерения из-за пропускных потерь

При реальных условиях измерения пирометр часто принимает не все излучение объекта измерения.

Такие объекты как пар, пыль, смотровые стекла или, к примеру, части установки на пути лучей пирометра вызывают уменьшение улавливаемого пирометром излучения.

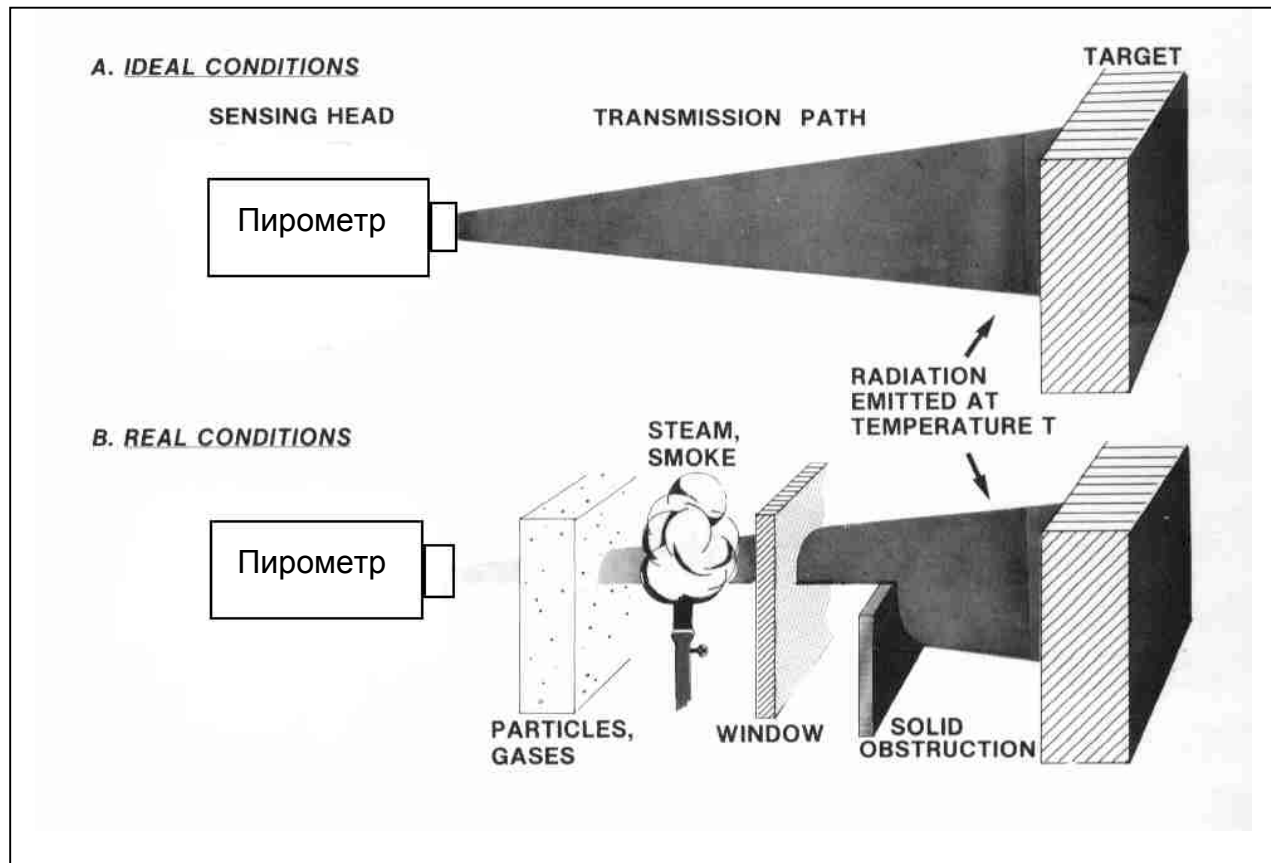


Рис. 4: Промежуточные среды на пути лучей пирометра.

Вывод:

- Чем более коротковолновое измерение производит пирометр, тем более нечувствительно он реагирует на колебания коэффициента излучения или пропускные потери через атмосферу на пути лучей.
- При определении диапазона измерения необходимо решить, что чаще лучше подходит коротковолновый измерительный пирометр с более высокой начальной температурой для того, чтобы удерживать паразитные влияния атмосферы или изменения коэффициента излучения на низком уровне.
- Для того, чтобы обойти паразитное влияние промежуточных сред на пути лучей пирометра часто применяются логометрические пирометры.

2.4. Логометрический пирометр:

Логометрический пирометр базируется на методе измерения с целью, проводить измерения независимо от коэффициента излучения или паразитического влияния.

Спектральный пирометр измеряет интенсивность излучения при одной длине волн и из этого образует температуру. При возникновении помех (пыль, пар, загрязненные смотровые стекла, меняющиеся коэффициенты излучения и т.п), которые уменьшают сигнал, это приводит к уменьшенной индикации температуры.

Логометрический пирометр одновременно осуществляет измерения на двух длинах волн. Прибор из двух этих интенсивностей образует соотношение (коэффициенты), которое пропорционально температуре. При возникновении ослабления сигнала в такой же мере ослабевают обе интенсивности логометрического пирометра, но соотношение остается постоянным и величина температуры тем самым не изменяется.

Также и этот метод измерения частично зависит от свойств излучения объекта. Как уже описывалось, коэффициент излучения зависит, в том числе, от длины волн. Неравномерном изменении обнаруживаемой интенсивности излучения у обоих длин волн ведет к тому, что происходит изменение соотношения интенсивностей и тем самым к изменению температурной индикации. Таким образом оба коэффициента излучения могут иметь различную величину. По этой причине у логометрических пирометров параметром, влияющим на величину измерения, является не устанавливаемый коэффициент излучения, а соотношение коэффициентов излучения. Этот параметр непосредственно влияет на величину измерения.

Несмотря на это влияние во многих областях логометрические пирометры позволяют минимизировать паразитические влияния. Места измерения, где можно вычислить номинальное воздействие пыли, дыма или загрязненных смотровых стекол, дают с помощью логометрического пирометра стабильные результаты измерения.

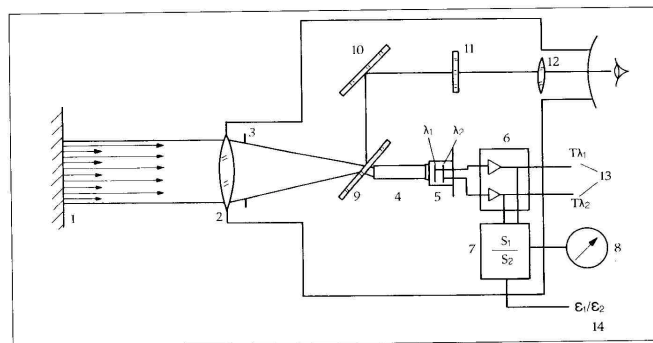


Рис. 8:

Конструкция логометрического пирометра постоянного света

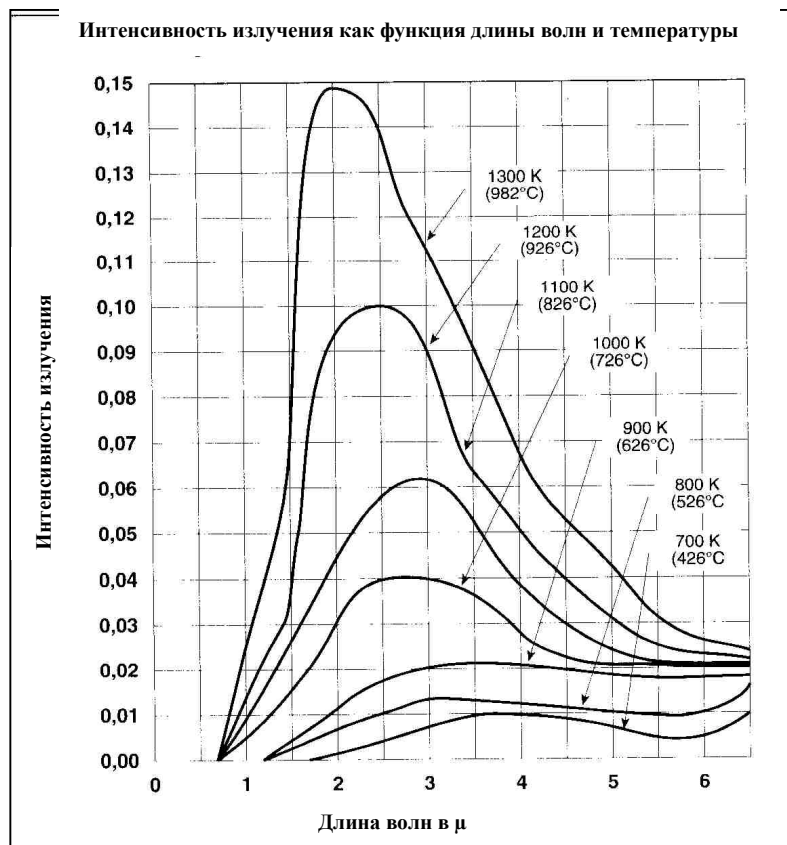
1. Объект измерения, 2. Объектив, 3. Апертурная диафрагма, 4. Световод, 5. Детекторы, 6. Обработка измеряемой величины, 7. Делитель и Q-выход, 8. Индикация, 9. Перфорированное зеркало с идентификацией измерительного поля, 10. Дефлектор, 11. Поляриод как защита для глаз, 12. Окуляр, 13. Спектральный выход, 14. Соотносительная коррекция коэффициента излучения

Рис. 5: Принципиальная конструкция логометрического пирометра со смотровым видеоискателем серии ARDOCELL PZ и ARDOCOL MPZ

1.2 Основные понятия и законы температурного излучения

Тепловое излучение, испускаемое телом, зависит от температуры, длины волн и коэффициента излучения. Связь между спектральным специфическим излучением $M_{\lambda s}(\lambda; T)$, температурой T и длиной волн λ „Абсолютно черного тела“ описывает закон излучения Планка.

$$M_{\lambda s}(\lambda; T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{[\exp(c_2 / \lambda T) - 1]}$$



Интеграция через все длины волн выдает общее специфическое излучение черного тела (закон Стефана-Больцмана).

$$M_s(T) = \sigma * T^4 \quad \sigma = \text{постоянная Стефана-Больцмана}$$

Вывод:

- ♦ Интенсивность излучения повышается с 4 степенью температуры.
- ♦ Более высокие температуры могут быть проще зарегистрированы энергетически. Поэтому при более высоких температурах могут быть реализованы меньшие измерительные пятна или большие интервалы измерения.
- ♦ Характеристика температуры обратно пропорциональна максимальной длине волн

(Закон Стефана-Больцмана). $\lambda_{\max} = \frac{b}{T[K]}$ $b = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

Более низкие температуры объекта измеряются длинноволновыми измерительными пирометрами, для высоких температур объекта использовать коротковолновые измерительные сенсоры.

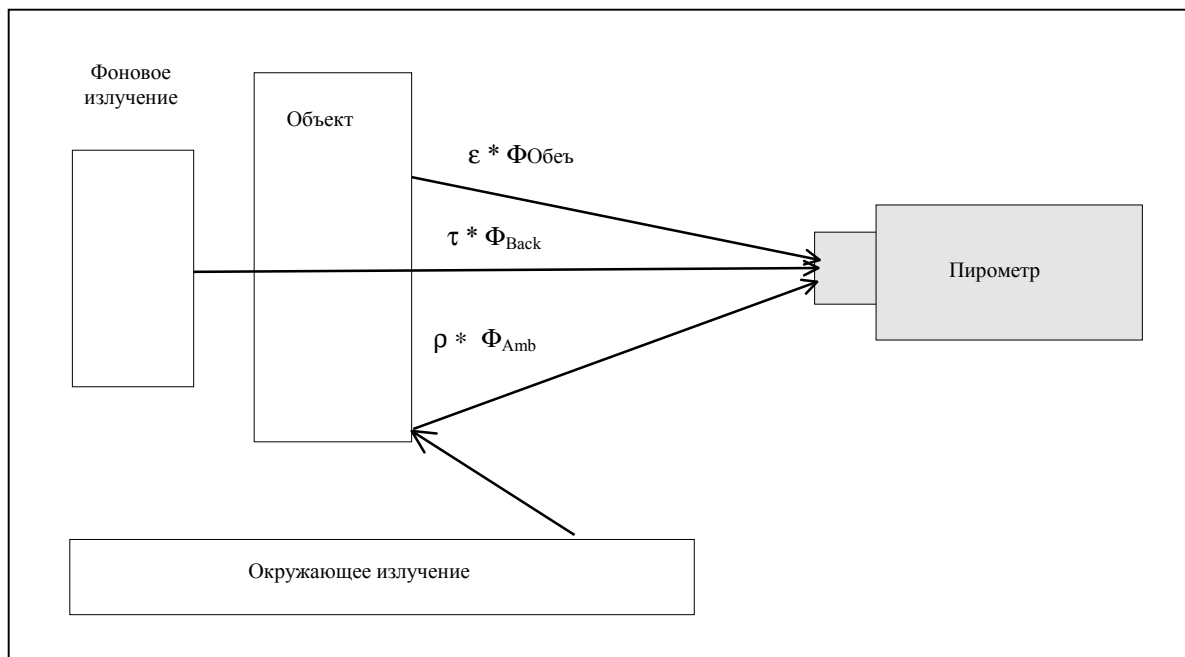
В зависимости от конструкции, сенсора и фильтра пирометра принимается лишь излучение малого диапазона длин волн и преобразуется в температурно-пропорциональную величину измерения.

Выбор длины волн для пирометра первоначально зависит от измеряемого диапазона температуры.

Следующая таблица описывает связь между наиболее часто используемыми в пирометрии диапазонами длины волн и относящимся к ним диапазонами измерения.

Длина волн	Сенсор	Диапазон температуры
8 ... 14 μm	Термический вторичный элемент	-30 ... 1000 °C
1,1 ... 1,7 μm	InGaAs-фотодиод	250 ... 2500 °C
0,8 ... 1,1 μm	Si-фотодиод	500 ... 3000 °C
4,8 ... 5,2 μm	Термический вторичный элемент (для стекла)	300 ... 2500 °C

1.3 Структура излучения, регистрируемого пирометром



Регистрируемое пирометром излучение состоит из следующих компонентов:

$$\Phi_{\Sigma} = (\epsilon * \Phi_{Obj}) + (\rho * \Phi_{Amb}) + (\tau * \Phi_{Back})$$

ϵ коэффициент излучения объекта измерения

ρ коэффициент отражения объекта измерения

τ коэффициент пропускания объекта измерения

Из закона сохранения энергии следует, что сумма коэффициентов излучаемой (ϵ), отражаемой (ρ) и пропускаемой (τ) энергии должна быть равна 1.

$$1 = \epsilon + \rho + \tau$$

Для непрозрачных объектов измерения формула упрощается:

$$1 = \epsilon + \rho$$

Если для непрозрачных тел излучение объекта Φ_{Obj} равно окружающему излучению Φ_{Amb} , то

$$\Phi_{\Sigma} = \varepsilon * \Phi_{Obj} + \rho * \Phi_{Amb}$$

$$\text{с } \Phi_{Obj} = \Phi_{Amb} \quad \Phi_{\Sigma} = (\varepsilon + \rho) * \Phi_{Obj}$$

$$\text{с } (\varepsilon + \rho) = 1 \quad \Phi_{\Sigma} = \Phi_{Obj}$$

При этих условиях измерение осуществляется независимо от коэффициента излучения.

Вывод:

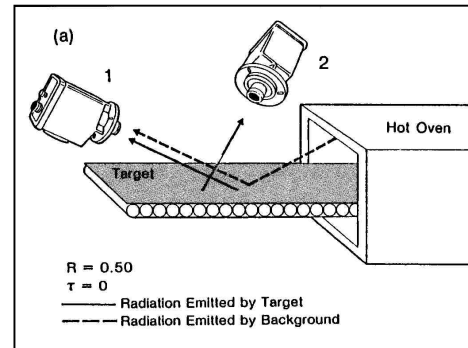
- ◆ Чем меньше разница между температурой объекта и окружающей температурой, тем меньше влияние коэффициента излучения на результат измерения.
- ◆ Указываемый в литературе коэффициент излучения, в зависимости от условий и структуры измерения, т.е. от паразитного излучения из внешней среды, может значительно отличаться от реально установленного коэффициента излучения.

1.4 Влияние и исключение паразитного излучения

Путем выбора подходящей монтажной позиции можно избежать влияния паразитного излучения.

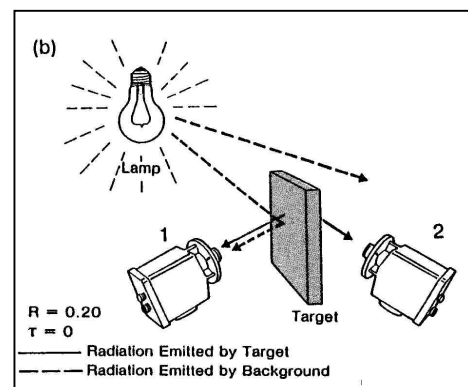
Пирометр 1 принимает 50 % паразитного излучения от теплой печи.

Пирометр 2 не принимает отражаемое излучение первого порядка.



Пирометр 1 принимает 20% паразитного излучения от ярко горящей лампы.

Пирометр 2 защищен объектом.



Посредством использования визирной трубки с водяным охлаждением паразитное излучение стенки печи затемняется.

