

Оптическое измерение температуры в сжигательных установках

Альберт Боок

Норма для выбросов оксида азота (NOx) в дымовых газах сжигательных установок, установленная законодательными и лицензионными требованиями, составляет <100 мг/Нм³ в очищенном газе при проскальзывании аммиака (NH₃) <10 мг/Нм³. Для соблюдения установленной нормы и принятия как основных, так и дополнительных мер по снижению вредных выбросов в окружающую среду необходим параметр управления, каковым является температура внутри котла. Настоящий доклад комментирует различные системы оптического измерения температуры в сжигательных установках.

Причиной возникновения оксидов азота является содержание азота в отходах, а также высокие температуры сгорания, необходимые для разрушения органических вредных примесей. В связи с этим меры, принимаемые на теплотехническом оборудовании, должны быть направлены на максимальное снижение образования NOx уже во время процесса сгорания. Для достижения низких выбросов NOx и одновременно полного сгорания требуется же, по возможности, длительное нахождение твёрдых загрязняющих частиц в редуцирующей (восстановительной) первичной зоне и хорошее их перемешивание с воздухом сгорания во вторичной зоне. При этом эксплуатационники угольных электростанций и термических сжигательных установок для отходов, суррогатных материалов и биомассы заинтересованы, с одной стороны, в снижении производственных затрат, а с другой стороны, в повышении КПД котла, а также в максимальном сокращении износа теплообменников и стен печи с целью увеличения их срока службы.

Решающую роль в реализации описанных выше требований и оптимизации процесса сгорания играет правильное измерение и равномерное распределение температуры в топке. Для соблюдения предельно допустимых значений вредных выбросов в окружающую среду, согласно Федеральному постановлению об охране окружающей среды от вредного воздействия (BImSchV), а также Техническому руководству по поддержанию чистоты воздуха (TA Luft), мусоросжигательные установки должны быть оснащены и эксплуатироваться таким образом, чтобы минимальная температура дымовых газов, образующихся при сжигании отходов или других материалов, на участке после последней подачи воздуха сгорания составляла 850 °C. При сжигании опасных отходов с содержанием галогена >1 % эксплуатационник установки обязан обеспечить минимальную температуру 1100 °C. Оптимальный температурный диапазон, в котором достигается существенное сокращение NOx, составляет, в зависимости от состава отработанных газов, от 850 до 1100 °C.

В конечном итоге, задача эксплуатационников сжигательных установок заключается в том, чтобы путём регулирования темпе-

ратуры достичь наиболее полного сгорания сжигаемых материалов и уменьшения количества образующейся золы, и одновременно с этим соблюсти требования по выбросу вредных веществ в окружающую среду, используя при этом как можно меньше реагента-восстановителя. К тому же, распределение температуры внутри котла оказывает существенное влияние на его износ и срок службы. При слишком высоких температурах возрастает вероятность шлакообразования на стенках котла и теплообменниках в течение короткого времени, что наряду со снижением изолирующего эффекта ведёт к опасности существенных механических повреждений в результате отслоения и падения вниз кусков шлака. При слишком же низких температурах снижается скорость восстановления оксида азота. В результате аммиак не растворяется полностью, и происходит проскальзывание непрореагировавшего аммиака, приводящее к образованию аммиачных солей, что увеличивает степень износа оборудования вследствие коррозии.

Измерение температуры в сжигательных установках

Измерение температуры во время сгорания представляет собой комплексный процесс. Выбор подходящих средств измерения, позиционирование мест измерений и трактовка результатов измерений при согласовании таких факторов как режим эксплуатации, вид топлива, а также подача воздуха сгорания и реагента-восстановителя представляют для специалистов сложную задачу по оптимизации процесса сгорания.

При этом многое базируется на эмпирических знаниях и незначительная доля – на физических аргументах. Одно только происхождение топлива и обусловленные этим его вид и состав существенно влияют на процесс сжигания.

Если же при этом для измерения температуры в важных точках измерения используется не подходящая и ненадёжная измерительная техника, то тогда не срабатывают ни математические модели, ни адаптивное регулирование.

Достоверное же и постоянное измерение температуры является необходимым условием для солидной базы технического регулирования.

Измерение температуры термоэлементами

Часто для измерения температуры используются термоэлементы, регистрирующие температуру на расстоянии нескольких сан-

тиметров от стен установки. Но замеренные при этом значения не обязательно соответствуют центральной температуре большого котла с габаритами до 20 x 20 м, и, в частности, если стены котла оснащены теплообменниками. Таким образом, получение достоверных сведений о распределении температуры внутри котла невозможно.

Дальнейшим недостатком термоэлементов является их старение, обусловленное их физическими свойствами, а также связанное с этим постепенное отклонение в показателях термоэлементов. В зависимости от температуры газов и содержания в них вредных веществ зарегистрированное измеренное значение может в течение нескольких недель медленно меняться. Есть попытки свести эту проблему до минимума путём оснащения установок резервными местами измерений и регулярной замены датчиков, что однако приводит к постоянным расходам.

К тому же инертность термопар, время срабатывания которых занимает до нескольких минут, препятствует быстрой реакции на кратковременные изменения температуры. Соответственно велик интервал колебаний процесса регулирования.

Измерение температуры пирометрами

Другим вариантом измерения температуры в котлах сжигательных установок является использование пирометров, определяющих температуру объекта измерения на основе излучаемых им инфракрасных лучей, с помощью формулы Планка. Благодаря

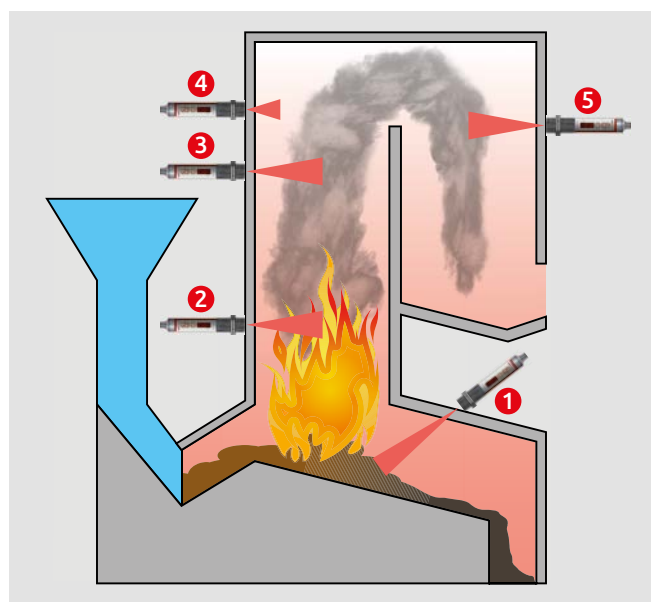


Рис. 1: Принципиальное изображение различных мест измерений в топке: 1. Горящий слой; 2. Пламя; 3. Дымовые газы внутри котла; 4. Дымовые газы у стенок котла; 5. Дымовые газы во втором топочном канале

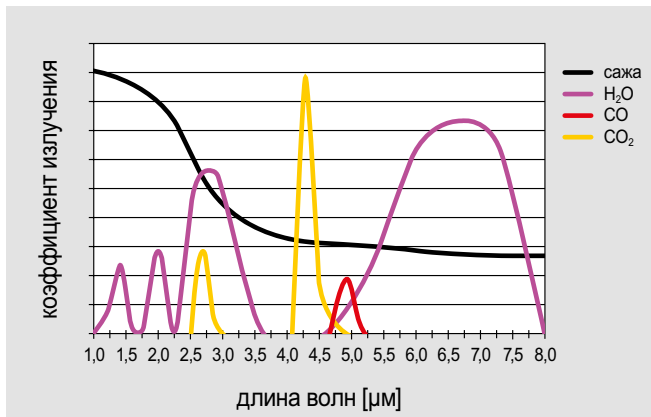


Рис. 2: Диаграмма излучения дымовых газов

времени установки, составляющему всего несколько миллисекунд, пирометры в состоянии реагировать на быстрые изменения температуры. Современные, работающие по принципу действия постоянного света приборы не имеют подвижных компонентов, что обеспечивает их износостойкую эксплуатацию и фактически неограниченный срок службы.

В зависимости от нужд и потребностей пирометры применяются в различных точках сжигательной установки для измерения температуры горящего слоя, пламени, горячих дымовых газов или стен (рис. 1). При этом важно учитывать, что выбор того или иного типа прибора зависит от поставленной задачи измерения.

Измерение температуры горящего слоя

Для измерений температуры горящего слоя применяются пирометры, которые не чувствительны к воздействию горячих дымовых газов, находящихся над горящим слоем в поле зрения прибора. Эти приборы работают очень селективно, в диапазоне длин волн 3,9 мкм. В этом спектре как водяной пар (H_2O), так и углекислый газ (CO_2) светопрозрачны и не влияют на результат измерений (рис. 2).

Измерение температуры пламени

Для бесконтактного измерения температуры коптящего пламени используются так называемые пирометры пламени. Работа этих пирометров основана на двухспектральном методе измерения. Это означает, что приборы регистрируют инфракрасное излучение объекта измерения одновременно на двух длинах волн и по результатам сравнения определяют его температуру. Колебания плотности и размера твёрдых частиц по всей длине участка измерения корректируются посредством комплексного алгоритма в этих моделях пирометров, не оказывая тем самым влияния на измеряемые значения.

Измерение температуры дымовых газов

Обязательной предпосылкой для пирометрического измерения температуры является наличие объекта, испускающего инфра-

красное излучение. Поскольку концентрация имеющихся в дымовых газах твёрдых частиц очень низка и непостоянна, то обычный пирометр будет измерять сквозь завесу газа более или менее смесь температуры твёрдых частиц и противоположной стены. В таком случае измеренный результат будет зависеть от плотности твёрдых частиц, меняющейся при различных нагрузках.

По этой причине производители пирометров воспользовались специфической характеристикой излучения дымового газа и разработали приборы со спектральной чувствительностью в диапазоне 4,4-4,8 мкм. Именно в этом спектре горячий углеродосодержащий газ имеет высокую оптическую плотность и, как результат, хорошие излучательные способности (рис 2).

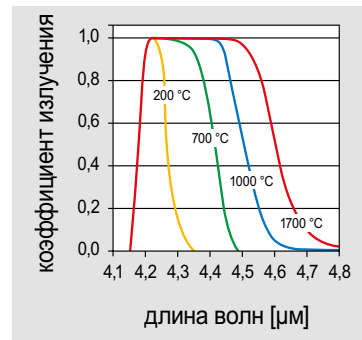


Рис. 3: Коэффициент излучения газов, содержащих CO_2 , в зависимости от длины волн и температуры

Излучательная способность дымовых газов зависит от длины волны и температуры. С повышением температуры полоса поглощения расширяется до длинноволнового диапазона (рис. 3). Поэтому для измерения температуры горячих дымовых газов следует выбирать пирометры со спектральным диапазоном $>4,35$ мкм, которые

будут регистрировать инфракрасное излучение горячих CO_2 -содержащих газов в котле, не реагируя при этом на воздействие холодных углеродосодержащих газов вблизи стен котла.

В зоне у стен котла царят температуры значительно ниже, чем в центре топки (рис. 4). В зависимости от того, какие температуры необходимо измерять: вблизи стен вместо термоэлементов или же



Рис. 4: Профиль температуры внутри топки

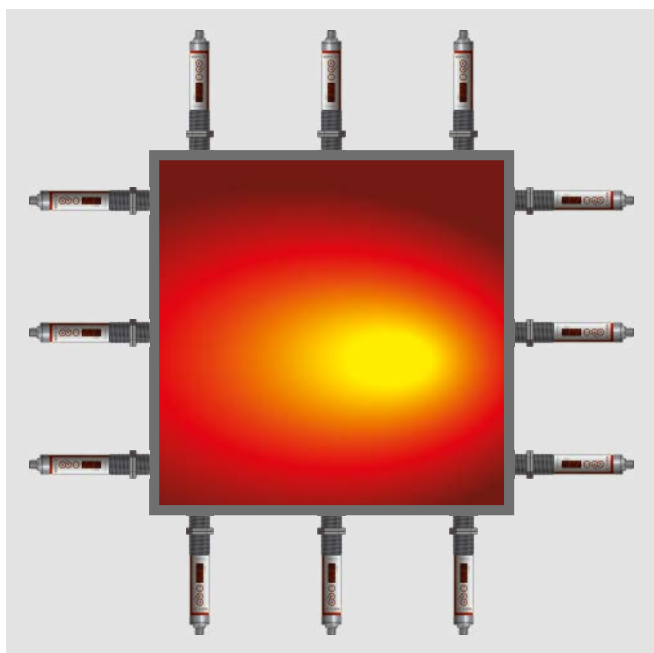


Рис. 5: 2-мерное тепловое изображение с индикацией дисбаланса распределения температуры

важные для процесса сгорания температуры внутри топки, - применяются пирометры с незначительной или с большой глубиной видимости. Поскольку газ является не поверхностным, а объёмным излучателем, то замеряемая пирометром температура представляет собой усреднённое по глубине видимости значение. Глубина видимости зависит от концентрации CO_2 и температуры горячего газа.

Монтаж и выбор пирометров

Решающим фактором для оптимального процесса сгорания и минимального износа оборудования является равномерное рас-



Рис. 6: Компактный пирометр с узким полем зрения и цифровым промышленным коммуникационным интерфейсом IO-Link

пределение температуры в котле. Из конфигурации измеренных значений различных приборов определяется двухмерный температурный профиль. Этот профиль позволяет распознать термический дисбаланс и принять соответствующие технические меры (**рис. 5**).

На рис. 1 изображены различные места измерений в зависимости от цели измерения. При выборе пирометров необходимо обращать внимание на то, чтобы приборы имели достаточно узкое поле зрения, позволяющее выполнять измерения сквозь отверстия в печи, величиной всего лишь в 1 дюйм. В последнее время применяются также пирометры с интегрированной видеокамерой, которые одновременно с измеренным значением переносят на монитор в операторской и видеоизображение для визуального контроля. Кроме того, для быстрых контрольных измерений рынок предлагает различные портативные приборы (**рис. 6**), соответствующие той или иной задаче и месту измерения.

Для получения 2-мерного температурного профиля на каждой стене котла на одном уровне монтируется до 3 пирометров. Для соединения с компьютером и бесперебойной передачи данных предлагаются пирометры с современными цифровыми интерфейсами, например, с промышленным коммуникационным интерфейсом IO-Link.

Заключение

При правильном выборе и монтаже пирометры идеально подходят для решения различных задач по измерению температуры в сжигательных установках. К тому же, не подверженные износу или старению приборы в состоянии работать безотказно в течение длительного времени. Кроме того, благодаря быстрому времени установления пирометры регистрируют даже короткие температурные колебания и немедленно воздействуют на процесс регулирования.

Однако, учитывая комплексность процесса измерения температуры, при выборе измерительной системы, анализе измеренных значений, а также привязке их в процесс регулирования рекомендуется прибегнуть к поддержке экспертов.



Автор:

Дипл. инж. Альберт Бук
KELLER HCW GmbH
Infrared Temperature Solutions (ITS)
тел.: +49 5451 85320
albert.book@keller.de
www.keller.de/its