

## АНАЛИЗ ОШИБОК В ВЫБОРЕ СРЕДСТВ РОЗЖИГА И КОНТРОЛЯ ПЛАМЕНИ

А.А. Винтовкин, В.В. Деньгуб, В.В. Татарников, А.В. Чистополов

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической  
теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»)  
(г. Екатеринбург, Россия)

*Средства розжига и контроля пламени часто являются причиной аварийных ситуаций в системах газоснабжения печей. В статье приведен анализ различных ситуаций при выборе и эксплуатации средств управления, которые могут привести к нарушению режимов горения и взрыву.*

**Ключевые слова:** горелка, факел, розжиг, контроль, датчики, отсечки топлива, взрывы.

*Means of ignition and flame control are often the cause of accidents in the systems of gas furnaces. The article provides an analysis of the different situations in the selection and operation of controls, which could lead to violations of the combustion and explosion.*

**Keywords:** torch, the torch ignition, control, sensors, fuel cutoff, explosions.

При любой системе отопления и при любом виде топлива одним из основных элементов системы безопасности является прибор, осуществляющий постоянный контроль наличия пламени в топочном объеме. В проблеме выбора датчика существуют два главных вопроса: какой выбрать датчик и как он должен быть установлен. Наиболее распространенными являются два типа датчиков: ионизационные и оптические.

Действие ионизационных датчиков основано на эффекте электрической проводимости пламени под действием разности потенциалов, приложенной к корпусу горелки и электроду. В пламени, как в низкотемпературной плазме, всегда присутствуют свободные электроны и ионы. Под действием электрического потенциала начинается движение этих частиц, т. е. возникает ток. Этот ток фиксируется вторичным прибором, и наличие тока свидетельствует о наличии пламени.

Действие оптических датчиков основано на оптических свойствах пламени. Пламя излучает в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом спектре излучения. Основная часть энергии, излучаемой пламенем, соответствует инфракрасной части спектра. Это тепловое излучение характеризуется длиной волны  $\lambda$  от 0,8 мк до 0,8 мм. Видимому излучению соответствует длина волны в диапазоне 0,4–0,8 мк, ультрафиолетовому – 20 мк–0,4 мк. Каждому диапазону излучения соответствует чувствительный элемент фотоприемного устройства. В соответствии с выбранным чувствительным элементом фотодатчики делятся на инфракрасные, ультрафиолетовые или просто датчики светимости. Кроме того, в связи с тем, что факел – это, прежде всего, горячая турбулентная струя, в которой происходят процессы смешения и пульсации параметров, излучение происходит также в пульсирующем спектре. Существуют чувствительные элементы, которые фиксируют частоту пульсаций излучения в различных спектрах.

Приборостроительные предприятия выпускают широкий диапазон приборов. Вопрос в том, как выбрать из этого обилия приборов тот, который в наибольшей степени соответствовал бы сжигаемому топливу, конструкции горелки и режиму горения. Ведь известно, что одно и то же топливо, например, природный газ, можно сжигать и в длиннопламенном коптящем факеле, и в коротком беспламенном.

К сожалению, в настоящее время проектанты такой информацией не располагают. Поэтому датчики контроля пламени выбираются не на основании четких научных рекомендаций, а на основании опыта или интуиции, с последующей заменой датчика при его неудачном выборе. Многие годы, занимаясь вопросами разработки горелочных устройств, ОАО «ВНИИМТ» также сталкивается с этой проблемой. Ниже изложены некоторые результаты работ по автоматизации горелок и анализ ошибок, который может быть полезен для специалистов-теплотехников.

При желании установки в горелке датчиков ионизационного контроля пламени следует иметь в виду, что факел не любого топлива генерирует достаточное количество ионов, способных формировать ток ионизации. Например, при попытке контролировать факел чистого водорода ионизационным датчиком наблюдали отказ. Для проверки работы системы управления, не меняя положения датчика, в горелку подали природный газ. При этом сразу появился надежный контроль.

Выполнен любопытный эксперимент. В лабораторной горелке, оборудованной ионизационным датчиком контроля, сжигали водород в открытом пространстве. При этом контроль пламени отсутствовал. Если рядом с этой горелкой на расстоянии около 0,5 м зажигали обычную парафиновую свечу, то контроль водородного пламени возникал. Этому, конечно, способствовали пары парафина в окружающем воздухе. Если свечу гасили или удаляли на большое расстояние, то контроль факела прекращался.

Ненадежный ионизационный контроль пламени наблюдается при горении окиси углерода. При сжигании газа, отходящего от ферросплавных печей, содержащего в основном СО, обнаруживались постоянные отказы в ионизационном контроле. Попытки увеличить напряжение на электроде, а также его размеры положительных результатов не дали. Проблема решилась только при замене датчика на оптический.

При выборе ионизационных датчиков большое значение имеет материал для изготовления электрода и его размер. В любом случае материал должен быть жаростойким и не подвергаться окислению. С точки зрения здравого смысла, датчик должен иметь оптимальную длину. При большой длине электрода контроль будет гарантированно надежным. Но датчик будет перегреваться и деформироваться. При малой длине электрода стойкость его повышается, но появляется вероятность отказа, если факел будет гореть не у самой кромки корпуса горелки. Оптимальную длину электрода можно подобрать только опытным путем.

У разумно спроектированной горелки сочленение металлического корпуса и горелочного камня выполняют таким образом, чтобы металл горелки был закрыт камнем от факела, развивающегося в топке. В этом случае для организации цепи тока ионизации к корпусу горелки должен быть присоединен дополнительный контур заземления, выведенный в горелочный камень.

Ионизационный контроль может оказаться непригодным в агрегатах с интенсивно запыленной рабочей атмосферой. Примером может служить опыт, полученный при автоматизации горелок цилиндрического башенного сушила, в котором на оси, в нижней ее части, установлена направленная вверх, форсунка для распыливания тонкоразмолотого шликерного водного раствора керамического порошка, а на боковых стенах установлены двухпроводные газовые вихревые горелки. Горелки имели воздушный корпус, выступающий в рабочий объем сушилки, с защитой от попадания в него пылевидных частиц шликера, радиальный лопаточный завихритель воздуха и установленный на оси электрод ионизационного датчика контроля пламени.

При работе горелки факел стабилизируется в выходном наконечнике. При этом пламя омывает и стенки наконечника и электрод. В начальный период работы система контроля пламени работала нормально. Однако по прошествии некоторого времени начались отказы в контроле пламени. При выяснении причин отказов оказалось, что электрод контроля и внутренняя поверхность выходного наконечника горелки покрыты тонким слоем керамики. Это произошло вследствие того, что вихревое движение газов в наконечнике способствовало засасыванию в наконечник частиц шликера из сушильного объема. Образовавшееся и обожженное покрытие нарушило электрическую сеть датчика ионизации пламени.

Восстановить контроль факела оказалось возможным только отказавшись от завихрителя воздуха и создания в наконечнике жесткого струйного факела, не имеющего застойных вихревых зон.

Не однозначным является преимущество оптических датчиков контроля пламени. Датчики инфракрасного излучения применяют, в основном, в топках тепловых устройств с водоохлаждаемыми не излучающими стенками. Датчики частотного типа могут успешно применяться в печах, в которых пульсирующей средой является только пламя, а все остальные факторы стационарны. Поясним примерами.

Датчик ФДЧ был установлен в горелке, расположенной на своде зажигательного горна агломерационной машины и контролировал факел, который фильтруется через подвижный слой раскаленного агломерата, в котором происходит дополнительное горение твердого топлива. При погасании пламени горелки частотный датчик видит пульсации светимости подвижного слоя и дает ложную информацию.

Такой же датчик был установлен на разгрузочной головке вращающейся трубчатой печи, в которой ведется прокалка электродного кокса, и контролировал факел торцевой горелки. При вращении печи раскаленные частицы кокса из пересыпающегося слоя попадают в щели между кирпичами футеровки и, таким образом, выносятся из слоя. При повороте печи, когда эти щели находятся в верхней части футеровки, эти частицы падают вниз в виде «красного дождя». При погасании факела частотный датчик видит падающие раскаленные частицы кокса и не дает команду на закрытие подачи газа в горелку.

Известны случаи, когда при отключении горелки по технологическим соображениям в горелочную амбразуру продолжают подавать воздух. Этот воздух, охлаждая футеровку, заставляет пульсировать ее светимость, тем самым выдается ложная информация о том, что горелка работает.

Серьезной проблемой для любых оптических датчиков контроля пламени является наличие в топочном пространстве запыленной среды. Наблюдались такие явления на вращающихся печах огнеупорной промышленности. При обжиге определенного сорта глины в печи наблюдается свободная незапыленная атмосфера и хорошо просматривается факел, который контролировал один ультрафиолетовый датчик. При переходе на обжиг глины другого карьера печь стала «пылить». Факел в печи плохо просматривается. Для гарантированного контроля факела на головке печи поставили в разных местах два фотодатчика, а в систему безопасности завели отсечку подачи газа по погасанию факела только в том случае, если поступил сигнал сразу от двух датчиков. Но и эта мера не всегда спасала, так как при неравномерной разгрузке обожженной глины наблюдались такие мощные выбросы пыли, что отказывали оба датчика.

Наиболее надежными являются датчики ультрафиолетового типа, которые реагируют только на сам процесс горения в диапазоне излучения длин волн от 0,4 до 0,01 мкм и не реагируют на разогретые поверхности топки. Это вызвано тем, что ультрафиолетовое излучение обусловлено присутствием в зоне горения возбужденных радикалов СН, ОН, С<sub>2</sub>, НСО и других, излучающих при переходе в стационарное состояние. Однако энергия излучения этих радикалов очень мала. Она обычно не превышает 0,5 % от всей энергии, выделяющейся при горении, а зона их существования в конкретном факеле, как правило, неизвестна. Поэтому место установки датчика требуется уточнять экспериментально.

Следует отметить важное значение положения датчика контроля пламени относительно горелки. Общие соображения диктуют условия, чтобы фотодатчик видел только собственное пламя и не видел пламя рядом установленных горелок.

Это условие трудно выполнить в печах и топках с большим количеством горелок, особенно при их встречном расположении. В этом случае фотодатчик необходимо размещать так, чтобы луч визирования его оптической оси не выходил за пределы размеров выходного отверстия горелочного камня или амбразуры.

Казалось бы, что для случая установки одной горелки в печи эта проблема решается легко, так как нет посторонних помех. Но и в этом случае есть опасность в том, что произвольно установленный фотодатчик, если он, например, установлен по оси горелки, увидит факел независимо от того, находится ли зона воспламенения в горелочном туннеле или факел оторвался от туннеля на какое-то расстояние.

Существенное значение имеет также выбор средства розжига горелки и место его установки. Особенно важно это иметь в виду, так как основные аварийные ситуации возникают именно в период пуска оборудования. Существует понятие, предусмотренное стандартом «Пусковая мощность горелки», под которой понимается минимальная тепловая мощность, при которой обеспечивается устойчивое зажигание топливовоздушной смеси. Стандартом определено, что значение этой мощности не должно превышать 50 % от номинальной мощности горелки. Это положение трудно назвать обоснованным. При розжиге горелки происходит постепенное открытие автомати-

ческого отсечного клапана, поэтому фактический расход топлива в момент воспламенения определить сложно. Эту мощность можно определить только экспериментально в ручном режиме розжига, и она должна быть указана в руководстве по эксплуатации горелки, что встречается крайне редко.

Существует также понятие, называемое минимальной энергией зажигания, которая определяется как наименьшее значение энергии электрического разряда, способное воспламенить смесь топлива и воздуха. Но этим понятием пользоваться в практических условиях трудно, так как для этого необходимо предварительно знать, в какой точке выходного сечения горелки или ее туннеля будет помещено электроразрядное устройство и какой состав топливоздушнoй смеси будет в точке зажигания.

Известны случаи, когда запально-искровое устройство имело электрический или пневматический привод, при помощи которого оно вводилось в зону воспламенения только на момент розжига. После розжига рабочий элемент выводился из зоны воспламенения. В этом случае глубина ввода запального устройства в зону зажигания может быть определена только экспериментально в период наладки.

Был выполнен также промышленный эксперимент, при котором горелку предварительно разжигали переносным запальником и определяли минимальную устойчивую тепловую нагрузку (пусковую). Затем через запальное отверстие при помощи зондов по линии ввода запальника определяли температуру и состав продуктов горения. При этом определялось положение зоны воспламенения смеси. Затем на границе зоны воспламенения устанавливалось запально-искровое устройство.

При проектировании существует проблема выбора мощности запального устройства, способной воспламенить конкретную смесь, вытекающую из горелки. Стандартом определено, что мощность запального устройства должна быть не более 5 % номинальной мощности горелки, 10 % ее пусковой мощности, но не более 0,12 МВт. Эти цифры не выдерживают критики, так как они не привязаны к виду сжигаемого топлива, способу смещения энергоносителей и конструкции горелки. Кроме того, номинальная мощность весьма условно может характеризовать размеры горелочного устройства и скорости вытекающих потоков и, тем более, ожидаемую пусковую мощность. Поэтому в этом вопросе, к сожалению, приходится руководствоваться интуицией с учетом перестраховки для надежности воспламенения и недопущению взрыва при пуске горелки.

Известен отрицательный опыт розжига мазутной вихревой горелки тепловой мощностью 8 МВт. Горелка с воздушным завихрителем вначале была оснащена механической форсункой. Розжиг горелки осуществлялся при помощи электроискрового разрядника, который на время пуска вводился в зону воспламенения за пластинчатый стабилизатор, а после розжига выводился из нее. Отказов в розжиге не наблюдалось. Однако механическая форсунка при работе формирует капли крупного размера, которые способствуют развитию длинного факела. Для сокращения длины факела механическую форсунку заменили на пневматическую с распыливанием мазута сжатым воздухом. Такая форсунка позволяет получить струи топливного аэрозоля с более мелкими каплями и лучше распределить его в вихревом потоке воздуха, что обеспечивает более короткий факел.

Однако прежняя система электроискрового розжига в этом случае оказалась не способной воспламенить поток топлива. Установленный на место демонтированного электроискрового разрядника плазмотрон, который формировал поток плазмы с температурой до 4000 °С и видимой длиной до 200 мм, также не зажигал топлива. Это объясняется тем, что в месте истечения топлива из пневматической форсунки скорость частиц топлива составляет около 200 м/с. Частицы топлива в струе воздушного потока при такой скорости пролетают через плазменный факел, не успевая нагреться и испариться. Поэтому и не происходило воспламенения.

Пример неудачного расположения газового запальника в топочной камере показан на рисунке. На одном торце цилиндрической футерованной камеры сгорания установлена вихревая горелка с тангенциальными подводами газа и воздуха. На другом торце камеры выполнен отвод продуктов горения. На торце вихревой горелки, по ее оси, установлено газовое запальное устройство.

При работе горелки создается интенсивный вихревой поток как в самой горелке, так и в камере сгорания. Причем весь основной поток воздуха движется по спирали вдоль футеровки. На оси камеры и горелки при этом формируется зона возвратного течения, в которой сначала воздух, а после воспламенения и поток продуктов горения движется в обратную сторону от дымоотводящего торца топки к горелке. Такая схема ввода газа и воздуха способствует интенсивному перемешиванию реагирующих потоков и полному выгоранию горючих компонентов. Однако такая схема ввода энергоносителей и расположения запального устройства опасна в период розжига горелки.

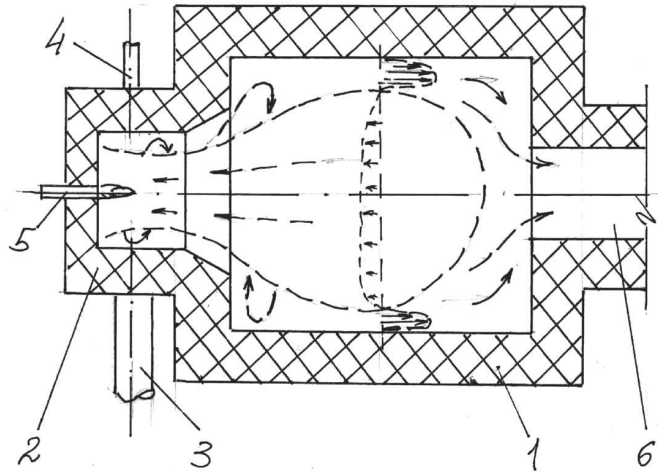


Схема неудачного расположения запальника в вихревой топке:  
 1 – топка; 2 – вихревая (или циклонная) горелка; 3 – тангенциальный ввод воздуха; 4 – тангенциальный ввод газа; 5 – газовый запальник; 6 – дымоотвод (стрелками обозначены линии тока газа и воздуха и эпюра скоростей в среднем сечении топки)

Перед розжигом установки включают подачу воздуха в горелку и интенсивно вентилируют топочную камеру. При этом в горелке и в топке формируется поток, описанный выше. После окончания вентиляции включают запальное устройство. При этом факел запальника развивается по оси горелки и топки. Когда начинают подавать в горелку газ, то он, увлекаемый потоком воздуха, также движется по спирали вдоль стенки топочной камеры, образуя газоздушную смесь. Но воспламенение газа в горелке при этом не происходит, так как на оси горелки еще находится воздух. Только после того, как потоки газа и воздуха в пристенной зоне перемешались, и скорость их снизилась, образовавшаяся газоздушная смесь попадает в центр топочной камеры и начинает двигаться в сторону горелки. Когда эта смесь подходит к факелу запальника, уже весь топочный объем оказывается ею заполнен. При этом воспламенение смеси происходит в виде взрыва во всем топочном объеме.

Экспериментально обнаружено, что неудачно близкое расположение электроискрового разрядного запальника и ионизационного датчика контроля пламени может приводить к ложной информации о наличии факела, в то время, как воспламенение топлива еще не произошло. При близком расположении этих элементов между ними протекают процессы, аналогичные процессам термоэлектронной эмиссии в электронных лампах. В этом случае электрод контроля выполняет функцию анода триодной лампы, запальный электрод имитирует решетку лампы, а электропроводящая зона – катод. Поэтому эти элементы необходимо располагать на значительном удалении друг относительно друга, но с учетом того, что они оба должны быть в зоне воспламенения.

## **Контактная информация**

Данная статья опубликована в сборнике докладов международной научно-практической конференции «Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности», посвященной 95-летию основания кафедры ТИМ, УрФУ и 85-летию основания Научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ», прошедшей в Екатеринбурге 17–18 сентября 2015 г.

Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники (ОАО «ВНИИМТ») предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»  
(ОАО «ВНИИМТ»)

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: [aup@vniimt.ru](mailto:aup@vniimt.ru)

[www.vniimt.ru](http://www.vniimt.ru)

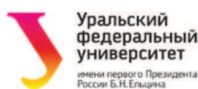


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
Институт материаловедения и металлургии  
Кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии»

## **Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности**

**Сборник докладов международной  
научно-практической конференции  
«Современные научные достижения металлургической  
теплотехники и их реализация в промышленности»,  
посвященной 95-летию основания кафедры ТИМ,  
УрФУ и 85-летию основания ОАО «ВНИИМТ»**

**Екатеринбург, 17–18 сентября 2015 г.**



Екатеринбург  
2015

УДК 669.04:004(06)  
ББК 34.303-12я431(0)

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, проф. **А.Н. Дмитриев** (гл. науч. сотр., Институт металлургии Уральского отделения РАН);

д-р техн. наук, проф. **Е.В. Торопов** (профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет))

**С 56 Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности:** Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию основания кафедры ТИМ, УрФУ и 85-летию основания ОАО «ВНИИМТ» (Екатеринбург, 17–18 сентября 2015 г.); Под ред. Г.М. Дружинина, Л.А. Зайнуллина, В.В. Лаврова, Н.А. Спирина, Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург, 2015. – 436 с.

ISBN 978-5-9907151-1-0

В сборник включены доклады, представленные на международной научно-практической конференции «Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности» (17–18 сентября 2015 г.), посвященной 95-летию основания кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии», УрФУ и 85-летию основания НИИМТ ОАО «ВНИИМТ». Доклады отражают становление двух научных центров, организатором которых был видный металлург-теплотехник Н.Н. Доброхотов. Это становление двух коллективов – кафедры и института – прослеживается в докладах, отразивших результаты научно-исследовательских работ ученых вузов и НИИ, предприятий и организаций России, стран ближнего и дальнего зарубежья по современным проблемам металлургической теплотехники черной и цветной металлургии. Тематика докладов конференции отражает динамику сотрудничества кафедры УрФУ и НИИМТ ОАО «ВНИИМТ», достижения специалистов в области теплотехники агломерационного и доменного производства, теплотехники нагревательных печей для нагрева металла и агрегатов для термообработки. Отражены также методы и способы эффективного использования энергетических ресурсов, информационные технологии в металлургии, а также актуальные проблемы экологии и управления тепловыми режимами технологических агрегатов в металлургии, машиностроении, промышленности строительных материалов.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, занимающихся решением теплотехнических проблем в металлургии и других отраслях промышленности, а также могут быть полезны студентам высших учебных заведений.

УДК 669.04:004(06)  
ББК 34.303-12я431(0)

Редакционная коллегия: д.т.н. Г.М. Дружинин, д.т.н. Л.А. Зайнуллин, д.т.н. В.В. Лавров, д.т.н. Н.А. Спирин, д.т.н. Ю.Г. Ярошенко.

Все статьи в номере опубликованы при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006).

All the articles were financially supported by the Government of the Russian Federation (Act 211, contract no. 02.A03.21.0006).

Ответственность за содержание предоставленных материалов несут авторы докладов. Воспроизведение сборника или его части без ссылки на издателя запрещается.

ISBN 978-5-9907151-1-0

© Уральский федеральный университет, 2015  
© Авторы статей, 2015