

УДК 532.5 + 621.181.7

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ
В ТУРБУЛЕНТНЫХ СМЕШИВАЮЩИХСЯ ОСЕВЫХ
И ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ ПОТОКАХ**

Докт. техн. наук, проф. ЕСЬМАН Р. И., канд. техн. наук, доц. ЯРМОЛЬЧИК Ю. П.

Белорусский национальный технический университет

Промышленность заинтересована в развитии технологий и разработке эффективных технических устройств для комбинированного сжигания различных видов альтернативного топлива, позволяющих придерживаться высоких требований к современным технологическим процессам, с одной стороны, и к возрастающим экологическим стандартам, с другой стороны.

Программа развития подобных технологий и конструирование новых устройств должны включать в себя комплекс методов термодинамического анализа, вычислительной гидродинамики, экспериментальной и теоретической аэродинамики течений с горением.

В случае турбулентных диффузионных факелов пламени процесс сгорания определяется структурой потока и смешением. Применяемые методы расчета основаны на законах подобия турбулентных струй, теории потока в гомогенном реакторе и на полных уравнениях в частных производных для турбулентного течения. При сгорании капель и частиц необходимо учитывать скорости гетерогенных реакций и распределение частиц по размерам и в пространстве. Эмиссия загрязняющих веществ, таких как углеводороды, сажа и оксиды азота, может быть уменьшена соответствующим управлением закономерностями изменения температуры и концентрации в области сгорания. Также необходимо учитывать расчетный лучистый поток теплоты от пламени к тепловым стокам (модель с идеальным перемешиванием, модель длинной топки, многоструйная модель, зонный метод анализа).

В течениях с горением влияние тангенциальных потоков подаваемого воздуха и топлива направлено на стабилизацию высокоинтенсивных процессов эффективного чистого сгорания.

Течения с существенной тангенциальной составляющей являются результатом сообщения потоку спирального движения с помощью тангенциальной подачи сред в камеру с формированием окружной компоненты скорости.

Экспериментальные исследования показывают, что спиральное движение оказывает существенное влияние на поле течения: на расширение струи, процессы перемешивания и затухания скорости в струе (в случае инертных струй), на размеры, форму и устойчивость факела пламени и собственно на интенсивность горения (в случае реагирующих потоков). На все эти характеристики влияет интенсивность окружной компоненты скорости, которая характеризуется параметром закрутки, представляющим собой безразмерное отношение осевой компоненты потока момента количества движения к произведению осевой компоненты потока количества движения и эквивалентного радиуса сопла.

Каналы подачи топлива располагаются внутри осевых и тангенциальных (генерирующих вихревые потоки) каналов подачи воздуха и вокруг стабилизатора (при использовании распыленного топлива, газа и т. п.) или в центре стабилизатора (при использовании жидких видов топлива, аль-

тернативного твердого топлива и жидких видов топлива и газа при подаче с помощью распылителя). Такая схема обеспечивает:

- образование завихрений у корня факела пламени, которые обеспечивают его абсолютную стабильность даже в холодной топке;
- управление формой факела пламени;
- насыщение факела пламени топливом (за счет аэродинамического захвата);
- создание в центральной части факела пламени условий, способствующих значительному сокращению образования окисей азота.

Наиболее эффективным представляется использование двух независимых каналов подачи первичного воздуха с регулировкой сечения выходного отверстия:

- через осевой канал подачи первичного воздуха – воздух эффективно подавать на высокой скорости, что обеспечивает узкую направленность потока.
- через тангенциальный (генерирующий вихревые потоки) канал подачи первичного воздуха – воздух эффективно подавать на высокой скорости с завихрением потока.

Регулирование распределения подаваемого воздуха между этими двумя каналами позволяет оптимизировать форму факела пламени в зависимости от геометрии топки и запроса на теплоту (мощность). При этом принцип работы данных двух каналов должен соответствовать следующим условиям.

Создание высокой скорости движения воздуха в осевом канале имеет две цели:

- затягивание и затем смешение в факеле пламени вторичного воздуха. Этот эффект достигается за счет системы регулирования сечения канавок и выходных отверстий на конце горелки, позволяющей управлять процессом горения и оптимизировать его;
- управление размером диаметра факела.

Завихрение воздушного потока вызывает вращение внутри факела, обеспечивая смешение первичного воздуха и топлива. Это вращение изменяет форму факела, влияя на его диаметр.

В зависимости от используемого вида топлива, расход первичного воздуха желательно оставлять в пределах от 7 до 11 % общего расхода воздуха.

Горелочное устройство, удовлетворяющее современным условиям, должно работать на следующих видах топлива:

- твердом – размельченные в пыль твердые виды топлива, такие как уголь, нефтяной кокс, бурый уголь, антрацит и т. п., подаются дутьевым способом через кольцевой канал, расположенный вокруг центрального стабилизатора;
- газообразном – природный, коксовый, конвертерный, другие искусственные газы впрыскиваются через кольцевой газовый канал или газовую форсунку;
- жидком – мазут, сырая нефть, дизельное топливо и т. п. распыляются через форсунки, размещенные по центру горелки;

- жидком или твердом альтернативном топливе, вводимом через центральную часть горелки;
- смешанном топливе в любых пропорциях.

Воздух, поступающий через осевой канал, создает сильный факел (за счет высокой скорости потока). Канавки улучшают поглощение факелом вторичного воздуха, в то же время кольцевой зазор, ограничивая факел по диаметру (не допуская его отклонения), делает его узким. Изменение соотношения между сечением канавок и сечением кольцевого канала, позволяющее оптимизировать процесс сгорания, осуществляется путем изменения конфигурации наконечника горелки. Воздух, поступающий через тангенциальный канал (отклоняющий поток воздуха от оси топки), обеспечивает изменение вращательного движения потока (завихрение). При усилении завихрения факел становится немного больше по диаметру и смешение топлива с воздухом происходит быстрее.

Варьирование сечением выходного отверстия изменяет скорость истечения газа, что позволяет управлять струей газа.

Измельченный уголь подается узким факелом при помощи соответствующего количества транспортирующего воздуха со скоростью подачи до 35 м/с, которая оптимизируется в зависимости от характеристик используемого топлива (количества летучего вещества, дисперсности, плотности и т. п.). Эффективнее всего скорость подачи регулировать путем изменения поперечного сечения выходного отверстия, если горелка оборудована регулируемым распылителем измельченного угля, или добавкой транспортирующего воздуха, если горелка оборудована обычным нерегулируемым распылителем с дополнительным каналом транспортирующего воздуха, использующим первичный воздух для увеличения скорости подачи измельченного угля.

Обычно центральный канал частично закрыт стабилизатором факела, через который проходит незначительное количество воздуха.

Используют разные конструкции стабилизаторов, например тугоплавкий стальной или керамический диск с многочисленными отверстиями, которые выполняют функцию удержания пламени у поверхности диска.

Гильзы позволяют установить форсунки для подачи жидкого топлива или газа для использования при запуске горелки (если основное топливо – трудновоспламеняемое) или в основном процессе (если являются основным топливом).

Гильзы также следует предусмотреть для установки электрода розжига и/или розжиговой горелки, а также топливных инжекционных трубок для распыления альтернативных видов топлива (жидкого или твердого).

Наиболее эффективным представляется регулировка по оси путем продольного смещения (вперед или назад) осевой внутренней инжекционной трубки на незначительное расстояние (как правило, не более 20 мм). Изменение положения этой трубки изменяет температурный профиль факела, благодаря варьированию соотношением поперечных сечений канавок и кольцевого канала на конце горелки, а также изменению скорости потока первичного воздуха.

В положении, когда поперечное сечение кольцевого канала на конце горелки минимально, поток первичного воздуха слегка уменьшен, а поток

нагретого вторичного воздуха в факел увеличен, что повышает температуру в корне факела.

В положении, когда поперечное сечение кольцевого канала на конце горелки максимально, максимально увеличен и поток первичного воздуха, который уменьшает диаметр факела.

Поддерживая постоянное давление на входе в горелку и используя эти регулировки, можно получать более горячее или более холодное пламя в корне факела. Клапан осевого канала обычно должен быть полностью открыт. (Он может частично закрываться в определенных случаях, например, если был установлен слишком большой размер отверстия для распыления топлива.)

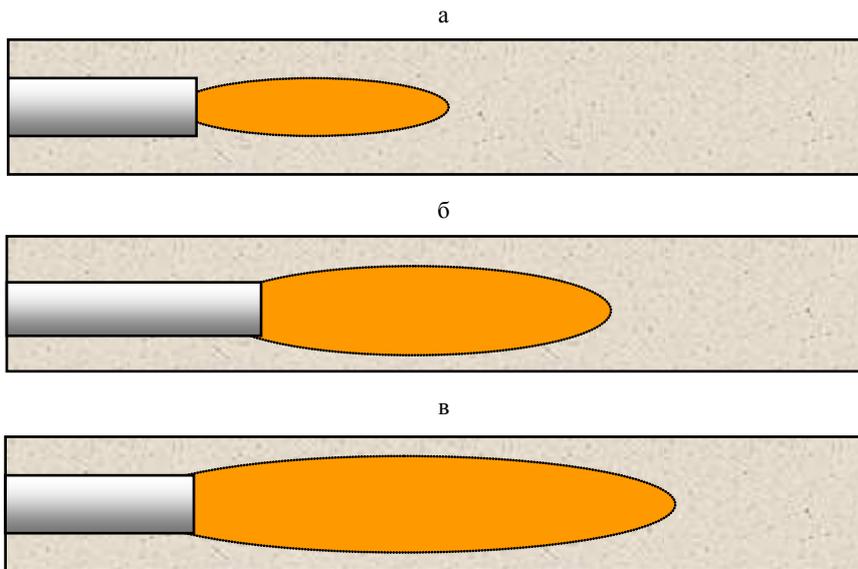
Слишком низкое давление воздуха в осевом канале (если закрыть осевой клапан) даст длинный, ленивый факел, который обычно не пригоден для обеспечения хорошей работы печи или топки.

Слишком высокая температура корня пламени (если открыть слишком широко осевой канал или при слишком мелком измельчении твердого топлива и т. п.), естественно, сократит срок службы наконечника горелки.

Поступление воздуха через тангенциальный канал управляется силой завихрения воздушного потока. Когда сила завихрения уменьшается, поступление воздуха через тангенциальный канал тоже снижается и факел становится тоньше. Когда сила завихрения увеличивается, диаметр факела становится больше.

Сила завихрения может регулироваться (рис. 1а–г):

- воздействием на давление тангенциального потока воздуха (уменьшение давления понизит расход и скорость истечения на выходе). Давление тангенциального потока воздуха может быть снижено до 80 мбар манометрического давления с помощью клапана радиального канала подачи воздуха;
- за счет изменения поперечного сечения тангенциального канала путем продольного смещения (вперед или назад) внутренней завихряющей трубки (уменьшение поперечного сечения снижает расход воздуха).



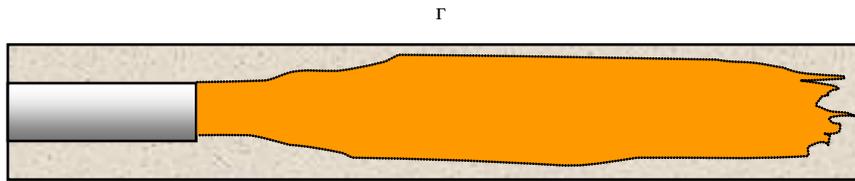


Рис. 1. а – тонкий и короткий факел: максимальный осевой поток / уменьшенный тангенциальный поток; б – короткий факел: максимальный осевой поток / увеличенный тангенциальный поток; в – длинный факел: уменьшенный осевой поток / сниженное давление осевого потока / уменьшенный тангенциальный поток; г – широкий и длинный факел: уменьшенный осевой поток / сниженное давление осевого потока / увеличенный тангенциальный поток

ВЫВОДЫ

В результате исследований доказано, что для случая турбулентных диффузионных факелов пламени процесс сгорания комбинированного многофазного топлива определяется структурой потока и условиями смешения различных видов топлива и распределенных потоков окислителя. Определено, что соотношение подводимого на горение воздуха по осевому и тангенциальному каналам определяет форму факела пламени, его размеры и интенсивность процессов, что позволяет эффективно оптимизировать технологические параметры.

Таким образом, можно утверждать, что многоканальная схема подачи разных видов топлива и организация двух независимых потоков воздуха (осевого и тангенциального) представляется наиболее оптимальной при комбинированном сжигании различных видов органического топлива.

Проведен термодинамический анализ процессов горения комбинированного многофазного топлива в турбулентных потоках камер сгорания сложной геометрии. Разработана математическая модель газодинамических развитых турбулентных потоков в камерах сгорания сложной геометрии, включающая систему дифференциальных уравнений движения турбулентных комбинированных газовых потоков, уравнение энергии и кинетическое уравнение горения. Проведен численный эксперимент, позволяющий установить оптимальные параметры стабильного функционирования процессов горения без отрыва пламени с вторичными турбулентными потоками, обеспечивающими значительное снижение вредных веществ (NO_x , CO , SO_x и др.) в дымовых газах. В результате исследований разработана методика, позволяющая в оперативном режиме проводить пусконаладочные работы для организации стабильного и чистого горения многофазного топлива в камерах сгорания сложной геометрии.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 12.12.2008