

2. Обучающие видео материалы КОМПАС-3D [Электронный ресурс]. URL: <http://kompas.ru/publications/video/> (дата обращения: 25.04.2018).

3. Рекуперативные газовые горелки ЕСОМАХ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kromschroeder.ru/index.php?recuperator> (дата обращения: 25.04.2018).

УДК 669.16.228.001.57

В. М. Аткин, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛИННОПЛАМЕННЫХ ГОРЕЛОК ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Аннотация

Для отопления вращающихся печей используют в основном длиннопламенные горелки и длина факела является очень важным параметром. В данной работе автором была изложена тема о работе длиннопламенной горелки с защитным факелом для вращающихся печей обжига шамота: схематичное изображение сопла и расчет диаметров горелки для условий, предъявленных в техническом задании. Вкратце говорится о принципе работы самой горелки таких как защитный факел, отрыв потока и его воспламенение на удаленном расстоянии. Говорится о скоростях и процентных соотношениях газа в основном и периферийном потоке, также говорится о горелке розжига, которая стабилизирует горение. В статье также приведены диаметры сечений горелки и толщины стенок в зависимости от условий их нахождения.

Ключевые слова: горелка, длиннопламенная, вращающаяся, печь, факел.

Abstract

For the heating of rotary kilns, long-flame burners are used and the length of the torch is a very important parameter. In this paper, the author presented the topic of the operation of a long flame torch with a protective torch for rotary kilns of chamotte burning: a schematic image of the nozzle and calculation of the torch diameters for the conditions presented in the technical assignment. In brief, the principle of the operation of the burner itself is described, such as a protective torch, flow separation and its ignition at a remote distance. It is a question of the velocities and percentage ratios of gas in the main and peripheral flow, also it is said about the ignition burner, which stabilizes the combustion. The article also provides the diameters of the burner sections and wall thickness, depending on the conditions of their location.

Key words: Burner, long-flame, rotating, furnace, torch.

1. Основные положения. Для отопления вращающихся печей используют, как правило, длиннопламенные горелки. Длина факела является существенным технологическим параметром, определяющим распределение температур по длине технологических зон печи и во многих процессах, должна иметь вполне определенные размеры.

Перед нами стояла задача разработать горелку с длиной факела более 15 м. Для получения факела такой длины была предложена идея, состоящая в том, что основная струя газа, примерно 80 % общего расхода, подается по центральному соплу (рисунок 1) с высокой скоростью, примерно 250...270 м/с. Это позволяет оторвать факел от сопла горелки и заставить его начать горение в том месте, где

в струю будет подсосано достаточное количество воздуха, а скорость струи снизится. Безусловно, рабочее пространство печи должно быть при этом разогрето до температуры $\approx 800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Окислитель в струю не подается. Вокруг центральной струи создается кольцо из защитной атмосферы, путем сжигания в этом кольце 20 % газа с коэффициентом избытка воздуха меньше единицы. Таким образом, создаются условия, при которых воздух не попадает в центральную газовую струю, а значит горение основного газа до определенного времени не происходит. В этом случае 20 % топлива от общего количества газа, и 30...80 % первичного воздуха от необходимого для сжигания этого количества топлива в кольцевом сопле подаются в камеру смешения на торце горелки, где организовано их хорошее перемешивание. Стабилизация горения осуществляется запальной горелкой, находящимися с торца кольцевой камеры.

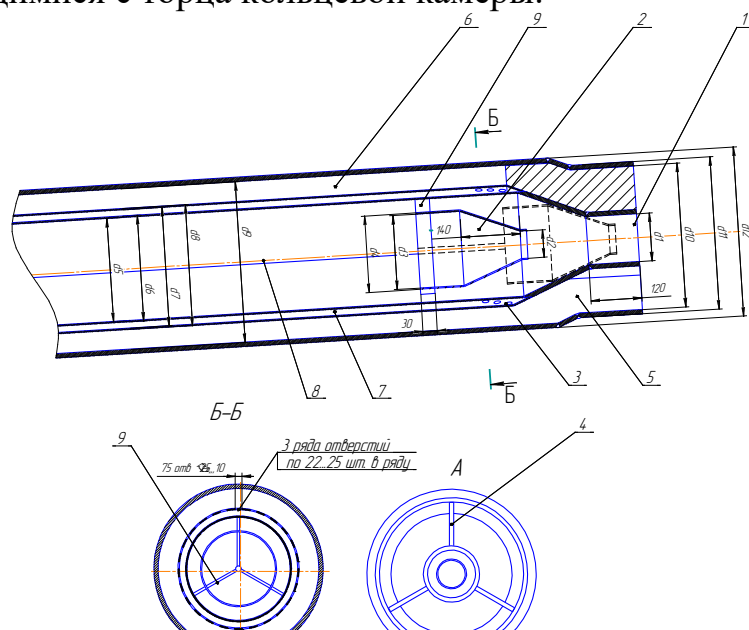


Рис. 1. Эскиз носика горелки для расчета определяющих размеров:
 1 – центральное сопло основного газа; 2 – регулирующий конус;
 3 – отверстия для выхода газа в смеситель; 4 – центрирующие лопасти;
 5 – смесительная камера; 6 – подвод первичного воздуха;
 7 – кольцевой канал подвода газа для кольцевого защитного факела;
 8 – тяга перемещения регулирующего конуса; 9 – центрирующие пластины

Сжигание топлива на периферии основной струи с недостатком первичного воздуха позволяет растянуть процесс горения и лучше защитить основную струю газа от преждевременного смешивания с воздухом, при этом кольцевой факел обеспечивает поджигание и стабилизацию горения основного факела на значительном удалении от сопла горелки.

Регулирование мощности горелки, т.е. расхода топлива по центральному соплу, осуществляется с помощью осевого перемещения конуса с центральным отверстием, через которое может пропускаться минимальный расход топлива. Такое регулирование позволяет изменять расход топлива, при этом скорости истечения струи остаются постоянными, а значит длина факела при изменении расхода будет изменяться незначительно.

2. *Расчет горелки. Исходные данные для расчета.* Расход природного газа для печи обжига шамота (диаметр печи 3 м, длина 50 м) составляет $V_{\text{макс.}}=1500$ м³/ч (максимальный), $V_{\text{мин.}}=750$ м³/ч (минимальный). Максимальное давление газа – $P=200000$ Па. Плотность газа при нормальных условиях – $\rho_0=0,8$ кг/м³. При давлении 200000 Па. плотность газа составит $\rho_p=2,379$ кг/м³.

Первоначально рассчитаем динамический напор, который мы будем затрачивать на сообщения потоку скорости на выходе из сопла, при избыточном давлении и коэффициенте потери напора при выходе из сопла $\zeta=1$ [1].

Поскольку полное давление складывается из динамического и потерянного напоров т.е. $P=P_d+P_{\text{пот.}}$, а потерянный напор определяется как $P_{\text{пот.}}=\zeta \cdot P_{\text{дин.}}$, то можно записать уравнение для $P=(1+\zeta)P_d$, откуда $P_d=P/(1+\zeta)=200000/(1+1)=100000$ Па. При таком динамическом напоре, скорость истечения струи из сопла составит:

$$W_1=\sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho_p}}=\sqrt{\frac{2 \cdot 100000}{2,379}}=289,9 \text{ м/с.}$$

Максимальный расход газа при давлении 200000 Па, с учетом повышения плотности газа и при неизменном массовом расходе и с учетом того, что 20 % топлива направляется в кольцевой факел, составит:

$$V_{r1}=0,8 \cdot 1500 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_p}=0,8 \cdot 1500 \cdot \frac{0,8}{2,379}=403,5 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } 0,112 \text{ м}^3/\text{с.}$$

При скорости $=289,9$ м/с площадь сечения центрального сопла составит $F_{ц1}=V_{r1}/W_{ц}=0,112/289,9=0,000386$ м², а диаметр сопла

$$d_1=\sqrt{\frac{F_{ц}}{\pi}} \cdot 4=\sqrt{\frac{0,000386}{3,14}} \cdot 4=0,0221 \text{ м, или } 22 \text{ мм.}$$

Центральное сопло будет «видеть» рабочее пространство и поэтому интенсивно нагреваться излучением, поэтому должно быть изготовлено из жаропрочной стали. Толщину стенки следует принять 10 мм, что увеличит срок службы сопла. Наружный диаметр центрального сопла составит $d_{13}=22+20=42$ мм.

Расход газа через сопло регулирующего конуса, при минимальном расходе топлива – 750 м³/ч за вычетом 20 % расхода, идущего на защитный факел, составит:

$$V_{r2}=0,8 \cdot 750 \cdot \frac{0,8}{2,379}=201,8 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

При скорости истечения $W_{ц}=289,9$ м/с, площадь сечения сопла составит $F_{ц2}=V_{r2}/W_{ц}=201,8/(201,8 \cdot 3600)=0,000277$ м².

Диаметр сопла составит

$$d_2=\sqrt{\frac{F_{ц}}{\pi}} \cdot 4=\sqrt{\frac{0,000277}{3,14}} \cdot 4=0,188 \text{ м, примем } 19 \text{ см.}$$

Диаметр внутренней трубы горелки для прохода основного газа в количестве 403,530 м³/с, при допустимой скорости $W_{r1}=20$ м/с, составит:

$$d_5=\sqrt{\frac{V_{r1}}{\pi W_{r1}}} \cdot 4=\sqrt{\frac{403,530}{3,14 \cdot 20 \cdot 3600}} \cdot 4=42 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр трубы, при ее толщине 3 мм составит $d_6=42+6=48$ мм.

Внутренний диаметр цилиндрической части регулирующего конуса, при скорости 20 м/м и расходе топлива 201,765 м³/ч, составит

$$d_3 = \sqrt{\frac{V_{r1}}{\pi W_{r2} \cdot 3600}} 4 = \sqrt{\frac{201,765}{3,14 \cdot 20 \cdot 3600}} 4 = 0,6 \text{ или } 60 \text{ мм.}$$

Примем толщину стенки конуса равной 3 мм, тогда наружный диаметр цилиндрической части регулирующего конуса составит $d_4 = 60 + 6 = 66$ мм.

Поскольку регулирующий конус будет нагреваться излучением от рабочего пространства печи, но уже меньше, чем наружное сопло, при этом охлаждаться газом, то его можно изготовить из нержавеющей стали.

Площадь сечения кольцевого канала для подачи газа в защитный кольцевой факел с учетом того, что через него идет $V_{r3} = 0,2 \cdot 403,503 = 80,7$ м³/ч со скоростью 20 м/с, составит:

$$F_{k2} = V_{r3} / W_3 = 80,3 / (20 \cdot 3600) = 0,0011 \text{ м}^2.$$

При внутреннем диаметре кольцевого сечения для прохода газа $d_6 = 176$ мм, наружный диаметр d_7 составит

$$d_7 = \sqrt{\left(\frac{F_{k2}}{\pi} 4 + d_6^2\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,0011}{3,14} 4 + 0,046^2\right)} = 0,039 \text{ м или } 39 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр внешней трубы кольцевого сечения подвода газа для защитного факела при ее толщине 3 мм, составит: $d_8 = 39 + 6 = 45$ мм. Трубы подвода газа в кольцевой защитный факел могут быть изготовлены из рядовых марок стали, поскольку не подвергаются тепловому излучению печи и охлаждаются газом и воздухом.

Площадь кольцевого сечения для подвода воздуха в защитный кольцевой факел при принятом коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 0,75$ и расходе $V_{в1} = V_{r3} \cdot \alpha \cdot L_0 = 80,7 \cdot 0,75 \cdot 8,93 = 540,5$ м³/ч (здесь $L_0 = 8,93$ – количество воздуха, теоретически необходимое для сжигания 1 м³ природного газа с теплотой сгорания 33500 кДж/м³), составит: $F_{в1} = V_{в1} / W_{в1} = 540,5 / (20 \cdot 3600) = 0,0075$ м². Внутренний диаметр наружной трубы горелки, образующей кольцевой канал для прохода первичного воздуха, составит

$$d_9 = \sqrt{\left(\frac{F_{в1}}{\pi} 4 + d_8^2\right)} = d_7 \sqrt{\left(\frac{0,0075}{3,14} 4 + 0,045^2\right)} = 0,0998 \text{ м или примерно } 100 \text{ мм.}$$

Та часть этой трубы, которая будет размещаться непосредственно в отводящей головке печи должна быть изготовлена из листа жаропрочной стали толщиной 10 мм, что повысит срок ее службы, а часть трубы, которая будет находиться в цехе и при этом охлаждаться воздухом может быть изготовлена из рядовой марки стали. Наружный диаметр горелки составит $d_{12} = 100 + 20 = 120$ мм

Суммарная площадь выходных отверстий для выхода газа в смеситель кольцевого защитного факела должна соответствовать площади кольцевого сечения подвода газа – $F_{к2} = 0,785$ м². При этом будет обеспечена скорость выхода газа 20 м/с, что достаточно для хорошего перемешивания газа и воздуха в смесительной камере. Если принять диаметр отверстия сопла для выхода газа в смеситель $d_{14} = 8$ мм, тогда площадь одного отверстия составит: $F_{13} = 0,785 \cdot 0,008^2 = 0,0000502$ м². Количество отверстий будет $n = F_{к2} / F_{13} = 0,00625 / 0,0000502 = 22$ шт., отверстия будут расположены в один ряд.

Примем скорость истечения смеси газа и воздуха из кольцевого отверстия в камере смешения – 25 м/с. Тогда площадь кольцевого отверстия при расходе газа $V_{r3} = 300$ м³/ч и расходе воздуха $V_{в1} = 540,5$ м³/ч составит

$$F_{cm2} = (V_{r3} + V_{b1}) / (3600 \cdot 25) = (300 + 540,5) / (3600 \cdot 25) = 0,0093 \text{ м}^2.$$

При наружном диаметре центрального газового сопла диаметре $d_{13}=42$ мм внутренний диаметр наружного кольца выходного сопла защитного факела составит

$$d_{10} = \sqrt{\left(\frac{F_{cm2}}{\pi} 4 + d_{1н}^2\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,0093}{3,14} 4 + 0,042^2\right)} = 0,285 \text{ м или } 285 \text{ мм}.$$

Толщина стенки сопла из жаропрочной стали – 10 мм. Наружный диаметр носика горелки – $d_{11}=285+20=305$ мм.

Список использованных источников

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
2. Теория практика теплогенерации / С.Н. Гуцин, М.Д. Казяев, Ю.В. Крючков, В.Б. Кутьин, В.И. Лобанов, Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 379 с.

УДК 62–97/–98

И. А. Бабенко, В. Л. Шульман

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗВИТИЕ УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА СУПЕРСВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ В РОССИИ

Аннотация

В статье рассмотрены преимущества перехода мировой и отечественной энергетики со сверхкритических параметров на суперсверхкритические. Дан обзор экологических и экономических аспектов, связанных с повышением КПД цикла. Рассмотрен компромисс уменьшения затрат эксплуатационных и повышения затрат капитальных на стадии проектирования станций. Указан положительный опыт строительства станций, работающих на суперсверхкритических параметрах в прошлом в Европе. Приведён анализ текущей ситуации в угольной энергетике России, также в статье продемонстрирован пример эффективной эксплуатации опытного блока на суперсверхкритических параметрах на Каширской ГРЭС и опыт создания промышленного блока на Троицкой ГРЭС. Их успешная работа, проведенные на них тесты и полученные результаты дают отчетливо понять, что Россия готова к внедрению современных эффективных и экологичных технологий.

Ключевые слова: суперсверхкритические параметры, угольная энергетика, Троицкая ГРЭС, Каширская ГРЭС, ТЭС.

Abstract

Advantages of changing steam parameters from supercritical to advanced-supercritical for world and Russian power engineering are considered in the article. The review of ecological aspects and economic dimension related to efficiency upgrading is given. The compromise between operating costs decreasing and capital costs growing on the stage of power plants developing is observed. The positive experience of advanced-supercritical power stations construction in Europe in recent years is described. Analysis of current situation of coal-fired power engineering in Russia is presented in this paper. The examples of efficient operating of the mock-up unit in Kashirskaya power plant and