

УДК 621.182.9

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ТВЕРДОГО НИЗКОСОРТНОГО
ТОПЛИВА В ТОПОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

**FEATURES OF PROCESSES OF BURNING OF SOLID LOW-GRADE FUEL
IN FURNACE SPACE**

©Хужаев П. С.

*Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими
г. Душанбе, Таджикистан, parviz0774@inbox.ru*

©Khuzhaev P.

Osimi Tajik technical university, Dushanbe, Tajikistan, parviz0774@inbox.ru

©Сулейманов А. А.

*Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими
г. Душанбе, Таджикистан*

©Suleymanov A.

Osimi Tajik technical university, Dushanbe, Tajikistan

©Сулейманова Н. А.

*Таджикский горно-металлургический институт
г. Бустон, Таджикистан*

©Suleymanova N.

*Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan
Buston, Tajikistan*

Аннотация. В статье приводится анализ характеристик различных существующих исследований и опыт конструирования котлов. Указывается на необходимость конструктивных изменений и выполнения исследований в области эффективного сжигания твердого топлива в котлах малой мощности.

Авторы показывают, что для повышения эффективности твердотопливных котлов, работающих на угле достаточно создания условий, удовлетворяющих требованиям теплового напряжения и для эффективного сжигания различных видов топлива, топка по конструкции должна быть универсальной, т. е. с изменяющимся тепловым напряжением.

В заключении отмечается, что высота топочной камеры зависит от свойств сжигаемого топлива, поэтому для определенного вида и состава топлива топочная камера должна иметь определенную конфигурацию и размеры с целью обеспечения оптимальной подачи воздуха и смешения его с топливом, поддержания расчетной температуры и обеспечения условий полного сгорания топлива.

Abstract. The article analyses the characteristics of various existing studies and the experience of the construction of boilers. The necessity of structural changes and implementation in the field of efficient solid fuel combustion in boilers of low power research.

The authors show that to enhance the efficiency of solid fuel boilers, coal-fired enough to create conditions that meet the requirements of thermal stress and efficient combustion of various fuels, the furnace in design should be universal, i.e. Variable heat stress.

Finally, it is noted that the height of the furnace depends on the combustion fuel properties, so a certain type and composition of fuel combustion chamber must have a certain configuration and dimensions to ensure optimum air supply and mixing it with fuel, the maintenance target temperature and ensure complete combustion conditions.

Ключевые слова: твердое топлива, кокс, воздух, колосник, тяга, котел, топка, камера.

Keywords: solid fuel, coke, air, burner, rod, boiler, furnace, camera.

В процессе сгорания твердого топлива каждая его частица проходит ряд термохимических реакций, в результате которых в топке котла выделяют три стадии горения топлива: выход летучих компонентов и их сгорание в виде газообразного топлива, выход жидких компонентов и их сгорание в виде жидкого топлива и последняя стадия, это сгорание твердого коксового остатка [1].

Эффективность топочных процессов, длительность процесса горения порции топлива, интенсивность подачи воздуха в топку, количество и состав пылегазовых выбросов определяется составами и свойствам летучих, жидких и твердых составляющих различных углей (Таблица).

Таблица.

ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕЙ,
 С КОТОРЫМИ ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

№	Наименование месторождения	Низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;	Влажность, %	Зольность, %	Выход летучих веществ, %
1.	Хаками	27017÷32573	5,2÷17,4	4,8 ÷ 19,7	26,8 ÷ 46,9
2.	Фан-ягноб	3226	0,35÷1,88	3,9 ÷ 24,5	23,1 ÷ 36,9
3.	Сайят	30919	4,9	32,3	3,0 ÷ 5,0
4.	Зидди	28085÷32175	3,4÷10,2	12,6 ÷ 33,7	4,9 ÷ 25,8
5.	Миенаду	35026	1,1	11,1 ÷ 30	4,9 ÷ 25,8
6.	Равноу	31694	0,3÷9,6	6,3 ÷ 34,8	29,3 ÷ 38,3
7.	Назар-Айлок	35145	0,78÷4,66	1,2 ÷ 4,2	32,4
8.	Шураб	27964	13,1	12,5	34,8

В твердопливных котлах малой мощности применяются в основном слоевые топки, в которых твердое топливо в кусках размером в сечении до 0,1 м располагается в слое высотой не более 0,3 м на колосниковой решетке. Загрузка топлива на колосниковую решетку предусматривается сверху или сбоку, а подача воздуха организуется снизу через колосниковую решетку. Часть топлива в виде кокса сгорает в слое на колосниковой решетке, а выделяющиеся жидкие и горючие газы в слое и объеме топочной камеры.

На Рисунке приведены изменения параметров сгорания топлива в слоевой топке с верхней загрузкой [2].

Максимальный коэффициент избытка воздуха α (Рисунок, б) располагается внизу слоя, а максимальная температура продуктов сгорания топлива в верхней части горящего кокса (Рисунок, в).

В слоевых топках загрузка угля осуществляется периодически, что соответственно вызывает периодичность работы топки с понижением ее мощности и экономичности. Для борьбы с указанными недостатками в настоящее время разработаны технологии ручного и автоматического регулирования тяги и дутья, регулируемой подачи вторичного воздуха.

При высоких скоростях подачи воздуха, а также малом объеме топочной камеры, в процессе сгорания топлива мелкие частицы несгоревшего угля захватываются потоком продуктов сгорания и выносятся за пределы топки, где их горение прекращается из-за недостатка воздуха [3–4].

Увеличение объема и размера, выносимых за пределы топки частиц, при возрастании выхода летучих веществ в угле, подтверждено в результате практических исследований Центрального котлотурбинного института (ОАО Научно–производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова). Установлено, что при сжигании угля с высоким выходом летучих веществ максимальный размер выносимых несгоревших частиц за пределы топки в 3 раза выше, чем для угля с более низким выходом летучих веществ и почти в 10 раз выше, чем для антрацита. Для котлов малой мощности при увеличении выхода летучих также наблюдается вынос не сгоревших частиц за пределы топки, а также появлению в дымовых газах повышенного содержания оксидов углерода, бенз(а)пирена и метана.

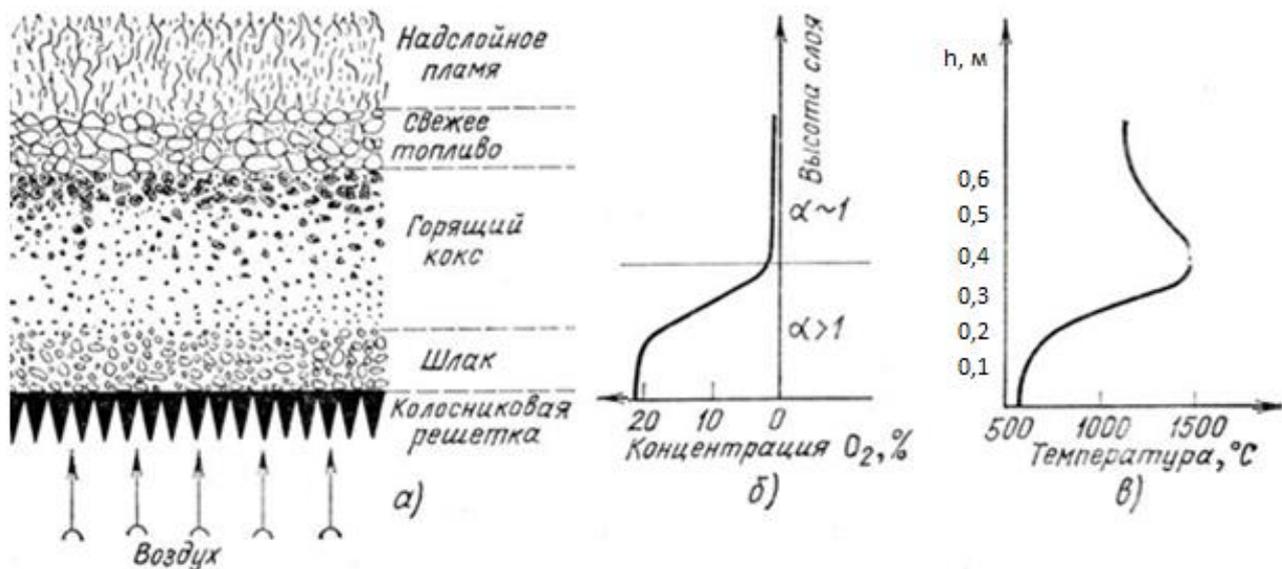


Рисунок. Стадии горения топлива в слое: а — зоны подготовки и горения топлива; б — изменение коэффициента избытка воздуха по высоте слоя; в — изменение температуры по высоте слоя.

При анализе процессов горения топлива предполагается, что большую часть времени происходит горение кокса, а сгорание летучих компонентов происходит моментально. В процессе сгорания углерода выделяющаяся при этом зола может или осыпаться с поверхности куска топлива («мягкий состав») или оставаться не разрушенной («жесткий состав») [5].

С учетом проведенных практических исследований установлено, что бурый уголь и некоторые сорта каменного угля горят, в большей степени, в виде пламени над слоем топлива. Поэтому топочная камера для них должна быть более высокой.

В низкой топочной камере летучие составляющие не сгорают в полной мере и продуктами сгорания уходят в газоходы, где процесс горения прекращается ввиду отсутствия воздуха и как следствие тепла может выделяться в 4 раза меньше [6]. Поэтому для определенного вида и состава топлива топочная камера должна иметь определенную конфигурацию и размеры с целью обеспечения оптимальной подачи воздуха и смешения его с топливом, поддержания расчетной температуры и обеспечения условий полного сгорания топлива [7].

На основании вышеизложенного можно сказать, что высокая теплопроизводительность котла при минимальном расходе топлива и его металлоемкости, качественное смешение топлива с воздухом и устойчивость горения топлива обеспечивается топочной камерой.

В объеме топочной камеры одновременно происходит сгорание топлива, конвективный и радиационный теплообмен между поверхностями нагрева и продуктами горения, а основными техническими характеристиками топок являются:

- объем топочной камеры, м^3 ;
- площадь стен топки, м^2 ;
- площадь лучевоспринимающей поверхности, м^2 .

Анализ различных способов сжигания топлива приводит к тому, что основным, определяющим процессом является горение углерода топлива. Несмотря на то, что при сжигании твердого топлива важную роль имеет подготовка топлива, состав и свойства золы, выделение и горение летучих и тепловые условия, однако во всех случаях горение твердого остатка топлива остается ведущей стадией процесса. Основная роль принадлежит процессу горения углерода, т. к., во-первых, твердый углерод является основной горючей

составляющей угля, во-вторых, стадия горения коксового остатка оказывается наиболее длительной из всех и, в-третьих, процесс горения кокса имеет решающее значение в создании тепловых условий для развития других процессов.

В основе процесса горения лежит химическая реакция углерода с кислородом, поэтому рассматривая неподвижную сферическую частицу кокса в бесконечном воздушном пространстве при постоянной температуре и постоянном давлении можно предположить, что на ее поверхности протекает только одна химическая реакция:



Приведенная реакция является гетерогенной, для которой особое значение приобретает чисто физический механизм подвода газовых реагентов из объема к твердой поверхности путем диффузии.

Действительно, если реакция между углеродом и кислородом совершается на поверхности углеродного тела, то концентрация кислорода вблизи этой поверхности должна снижаться за счет горения и за счет накопления продуктов реакции. Поэтому создается разность концентраций кислорода в среде, прилегающей к углероду, и вдали от него, и возникает диффузионный поток кислорода, на основании чего скорость приведенной реакции пропорциональна концентрации кислорода у поверхности.

Движение кислорода к поверхности осуществляется под действием градиента концентраций. Количество кислорода, которое перемещается в единицу времени через единицу поверхности сферы произвольного радиуса с центром в частице, определяется зависимостью $D \frac{dc}{dr}$, где c — мольная концентрация O_2 (кмоль/м³), D — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом диффузии (м²/с) и принимается $D = const$, r — радиус частицы углерода, м.

Принимая, что реакция взаимодействия кислорода воздуха с углеродом топлива протекает только на поверхности, то поток кислорода через любую сферу одинаков, т. е.:

$$\frac{d}{dr} \left(4\pi r^2 D \frac{dc}{dr} \right) = 0 \quad (1.2)$$

Дополнительные условия для этого уравнения могут быть представлены в виде:

$$c(r)|_{r=\infty} = c_\infty = const \quad (1.3)$$

$$-D \left(\frac{dc}{dr} \right)_{r=r_0} = kc(r_0) \quad (1.4)$$

Первое условие означает, что горение одиночной частицы не оказывает влияния на концентрацию кислорода вдали от нее. Второе условие выражает тот факт, что кислород, поступающий к поверхности частицы, расходуется в химической реакции на ней со скоростью, пропорциональной концентрации окислителя у поверхности. Коэффициент пропорциональности k называется удельной скоростью химической реакции.

Таким образом на основании уравнений (1.3)–(1.5) продолжительность сгорания частицы можно представить в виде:

$$c(r) = c_\infty \left(1 - \frac{r_0}{r} \frac{D}{1 + kr_0} \right) \quad (1.5)$$

Концентрация у поверхности частицы, при $r = r_0$, определяется зависимостью:

$$c(r_0) = c_\infty = \frac{c_\infty}{\frac{kr_0}{D} + 1} = \frac{\frac{\rho_{ок,\infty} M_{ок}}{D}}{\frac{kr_0}{D} + 1} \quad (1.6)$$

Скорость убыли массы углерода с поверхности частицы составит:

$$m = 4\pi r_0^2 \cdot kc_0 \cdot M_c \quad (1.7)$$

где $4\pi r_0^2$ — площадь поверхности, на которой происходит химическая реакция, см²; kc_0 — скорость химической реакции, пропорциональная концентрации кислорода у поверхности, кмоль/(см² · с); молекулярная масса углерода, $\mu_c = 12$ г/кмоль.

На основании вышеизложенного, с учетом формул (1.6) и (1.7) скорость убыли массы углерода с поверхности частицы определяется формулой:

$$m = 4\pi r_0^2 \cdot \frac{M_c}{M_{ок}} \cdot \rho_{ок,\infty} \cdot \frac{k}{kr_0/D + 1} = const \quad (1.8)$$

При этом время сгорания топлива массой $M = (4/3)\pi r_0^3 \rho_k$ можно найти после несложных преобразований:

$$\tau = \frac{M}{m} = \frac{8}{9} \frac{\rho_k}{\rho_{ок}} \left(\frac{r_0^2}{D} + \frac{r_0}{k} \right) \quad (1.9)$$

В данном случае нет ничего относящегося к диффузии, время сгорания определяется интенсивностью химической реакции — кинетический режим горения.

При формировании процесса были учтены две стадии — подвод кислорода к поверхности посредством диффузии (коэффициент D) и химическая реакция на поверхности (коэффициент K). Эти процессы совершаются последовательно, а время сгорания складывается из двух частей: τ_D и τ_K .

Таким образом, в общем случае продолжительность реакции определяется зависимостью:

$$\tau = \tau_D + \tau_K \quad (1.10)$$

Несмотря на очень упрощенную постановку задачи, полученные результаты находят широкое практическое применение.

Анализ представленных выше данных, приводит к заключению, что характеристики угольного топлива в рассматриваемых регионах практически совпадают и для повышения эффективности работы твердотопливных котлов, работающих на угле достаточно создание условий, удовлетворяющих требованиям теплового напряжения.

Таким образом, для эффективного сжигания различных видов топлива, топка по конструкции должна быть универсальной, т. е. с изменяющимся тепловым напряжением.

Выводы

Высота топочной камеры зависит от свойств сжигаемого топлива, поэтому для определенного вида и состава топлива топочная камера должна иметь определенную конфигурацию и размеры с целью обеспечения оптимальной подачи воздуха и смешения его с топливом, поддержания расчетной температуры и обеспечения условий полного сгорания топлива.

Список литературы:

1. Кнорре Г. Ф. Топочные процессы. М.–Л.: ГЭИ, 1951. 320 с.
2. Дубынин Ф. Д., Карелин А. И., Кострикин Ю. М., Ромадин В. П., Ромм Э. И., Усенко Т. Т. Рабочие тела и процессы котельной установки. Топочные устройства. М., Л.: Госэнергоиздат, 1941.
3. Волынкина Е. П., Пряничников Е. В. Значение правильного выбора топлива для котельных со слоевой системой сжигания // Новости теплоснабжения. 2007. №4. С. 14–18.
4. Волынкина Е. П., Пряничников Е. В. Снижение выбросов загрязняющих веществ на угольных котельных со слоевой системой сжигания // Теплоэнергетика. 2002. №2. С. 33–41.
5. Бабий В. И., Куваев Ю. Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986. 208 с.
6. Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М. Теория тепло– и массообмена / пер. с англ. Э. М. Фурмановой и др.; под ред. акад. А. В. Лыкова. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. 680 с.
7. Щеголев М. М., Гусев Ю. Л., Иванова М. С. Котельные установки. М.: Стройиздат, 1972, 384 с.

References:

1. Knorre G. F. Topochnye protsessy (Furnace process). Moscow–Leningrad, GEI, 1951, 320 p.
2. Dubynin F. D., Karelin A. I., Kostrikin Yu. M., Romadin V. P., Romm E. I., Usenko T. T. Rabochie tela i protsessy kotelnoi ustanovki. Topochnye ustroistva (Work the body and how to install the boiler. Furnace devices). Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat, 1941.
3. Volynkina E. P., Pryanichnikov E. V. Znachenie pravilnogo vybora topliva dlya kotelnykh so sloevoi sistemoi szhiganiya (The value of the correct choice of fuel for the boiler combustion system with layered). Novosti teplosnabzheniya, 2007, no. 4, pp. 14–18.
4. Volynkina E. P., Pryanichnikov E. V. Snizhenie vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv na ugolnykh kotelnykh so sloevoi sistemoi szhiganiya (Reducing emissions from coal–fired boiler with a layered combustion system). Teploenergetika, 2002, no. 2, pp. 33–41.
5. Babii V. I., Kuvaev Yu. F. Gorenje ugolnoi pyli i raschet pyleugolnogo fakela (The burning of coal dust and coal–dust torch calculation). Moscow, Energoatomizdat, 1986. 208 p.
6. Ekkert E. R., Dreik R. M. Teoriya teplo– i massoobmena. Transl. from Eng. E. M. Furmanova et al.; ed. A. V. Lykov. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat, 1961. 680 p.
7. Shchegolev M. M., Gusev Yu. L., Ivanova M. S. Kotelnye ustanovki (Boiler units). Moscow, Stroiizdat, 1972, 384 p.

*Работа поступила
в редакцию 11.01.2017 г.*

*Принята к публикации
14.01.2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Хужаев П. С., Сулейманов А. А., Сулейманова Н. А. Особенности процессов горения твердого низкосортного топлива в топочном пространстве // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №2 (15). С. 53–58. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/khujaev> (дата обращения 15.02.2017).

Cite as (APA):

Khuzhaev, P., Suleymanov, A., & Suleymanova, N. (2017). Features of processes of burning of solid low–grade fuel in furnace space. *Bulletin of Science and Practice*, (2), 53–58. Available at: <http://www.bulletennauki.com/khujaev>, accessed 15.02.2017. (In Russian).