7universum.com
UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СГОРАНИЕ ДРОВ В ТОПКЕ БЫТОВОЙ ПЕЧИ

Шевяков Владимир Викторович
канд. техн. наук,
РФ, г. Москва
E-mail: shevvladimir@gmail.com

FIRE WOOD BURNING IN THE FIREPOT OF HOUSEHOLD OVEN

Shevyakov Vladimir
Candidate of Technical Sciences,
Moscow, Russia

АННОТАЦИЯ

Цель работы — определение количественных соотношений летучих (продуктов пиролиза) и углей в дровах, их вклад по количеству выделяемого тепла, оценка интенсивности их сгорания в процессе всего цикла горения дров, определение влияния лучистого и конвективного теплопереноса на распределение тепла в топке и каналах.

ABSTRACT

The aim of the article is to identify quantitative relations of volatiles (products of pyrolysis), and coals in the wood; their contribution for the amount of generated heat; intensity assessment of their burning in the process of the whole cycle of burning wood, to determine the effect of the radiant and convective heat transfer to the heat distribution in the firepot and channels.

Ключевые слова: древесина, сгорание, летучие, угли, теплоперенос, тепло, топка, каналы, потери.

Шевяков В.В. Сгорание дров в топке бытовой печи // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. 2015. № 4-5 (17) . URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2161

Keywords: wood, burning, volatiles, coals, heat transfer, heat, firepot, channels, waste.

Если твердое топливо (древесину) нагревать без доступа воздуха, то она распадется на две части: летучие вещества и твердый остаток — кокс (древесный уголь). Каждая из двух частей топлива горит, но условия их сжигания весьма различны. Характеристика топлива по выходу летучих накладывает отпечаток на конструкцию топки и на ее эксплуатацию [9]. При сжигании дров, у которых выход летучих высокий, надо создавать условия для качественного сгорания и летучих? и углей. Для сгорания летучих нужен приток воздуха в большом количестве, но с малой скоростью, а при догорании углей, наоборот, в малом количестве с большой скоростью [4]. Поэтому оценка количественных соотношений летучих и углей в дровах, их вклад по количеству выделяемого тепла, определение интенсивности их сгорания в процессе всего цикла горения дров, распределение тепла в топке и каналах являются той базой, которая лежит в основе всех явлений и процессов, происходящих в печи. Именно это и определяет в значительной мере и конструкцию топки, и все энергетические характеристики печи.

Угольное или газовое горение дров в топке. Примерная оценка количественных соотношений

Древесина (абсолютно сухая) в основном состоит из трех химических элементов: углерод — 50 %; кислород — 44 %; водород — 6 %.Называть углями в топке древесный уголь, на мой взгляд, не совсем корректно. Древесный уголь на продажу получают при температурах не выше 350^0С. И он содержит еще довольно много летучих — 35—40 %. Но нам необходимо определить, сколько в древесине чистого угля или кокса без летучих. При нагреве абсолютно сухой древесины выше 500^0С, в дровах полностью сгорают летучие и остается около 15 % чистого угля или кокса, в котором 96—97 % чистого углерода в виде **твердого остатка** и примерно 2,5 % золы. И при дальнейшем нагреве до 900 ^{0}С и выше эта величина практически остается постоянной [7]. Точные замеры

количества летучих и угля (кокса) в древесине проводят согласно методике, приведенной в ГОСТе 6382-2001[1]. В [8] приведено значение количества летучих, определенных по этой методике, равное 85 % от всей массы абсолютно сухих дров, т. е. на чистые угли приходится те же 15 %.В бытовых печах температура в топке достигает значений 800—1300 ^{0}С и выше. Поэтому в дальнейшем будем говорить об угле (коксе), в котором нет никаких летучих. Т. е. в нем остается чистый углерод в виде твердого остатка. При сгорании древесины, когда полностью выгорают летучие, остается тот самый уголь, состоящий из углерода в виде твердого остатка, который медленно догорает в топке в конце процесса горения дров. Приняв количество углерода в виде твердого остатка как 15 %, можно определить, сколько тепла получается при сгорании этого количества углерода.

Для 1 кг абсолютно сухих дров — Qн=4500 ккал.

Для углерода — Qн=8100ккал/кг.

Значит, для 15 % углерода, что соответствует 0,15 кг — Qн.уг=0,15кг*8100ккал/кг=1215ккал. Тогда на летучие приходится — Qн. лет= 3285 ккал/кг.

Получается, что тепла от сгорания летучих из дров выделяется почти в три раза больше, чем от углей. Поэтому можно считать, что дрова горят преимущественно летучими, а не углями. И именно летучие газы и дают основное тепло при сгорании дров. Тем более что не весь уголь в виде твердого остатка сгорает в процессе горения летучих. А значительная часть углей догорает, когда все летучие уже прогорели. Эту часть (количество) догорающих углей можно подсчитать по полученным результатам испытаний. Анализ результатов испытаний, приведенных ниже, и расчеты показывают, что примерно только половина углерода (кокса), т. е. 7—8 % из 15 % в виде твердого остатка догорает без летучих в конце процесса сгорания дров. А половина сгорает вместе с летучими. Поэтому на участке горения летучих, это примерно две трети времени всего цикла горения дров, вклад по теплу от сгорания углерода в твердом остатке составляет 600 ккал, т. е. примерно

13 % от общего тепла, заключенного в дровах, что меньше тепла от сгорания летучих в пять раз.

Часть летучих сгорает внутри или около пористого слоя угля, появляющегося на поверхности полена, и нагревает этот слой до ярко красного свечения. Этот процесс сгорания летучих виден, как горение самого угля. Это связано с тем, что часть летучего углерода и водорода, имеющихся в летучих, проходя через этот слой углей, сгорает в этом слое в среде кислорода, также находящегося в летучих. А остальная часть догорает за пределами поверхностного угля, в среде кислорода воздуха. Но при этом сам углерод в углях сгорает очень медленно, и оставшиеся угли догорают еще после сгорания всех летучих. По результатам испытаний удалось определить и сопоставить количество тепла, получаемого при догорании углей, с количеством тепла, уходящего в трубу за время догорания этих углей.

На рисунке 1 приведены графики, полученные с помощью газового анализатора (ГА) и анемометра при сгорании закладки дров массой 5 кг в печи ПДКШ 2,0. Процесс горения дров контролировался визуально через стекло топочной дверки.

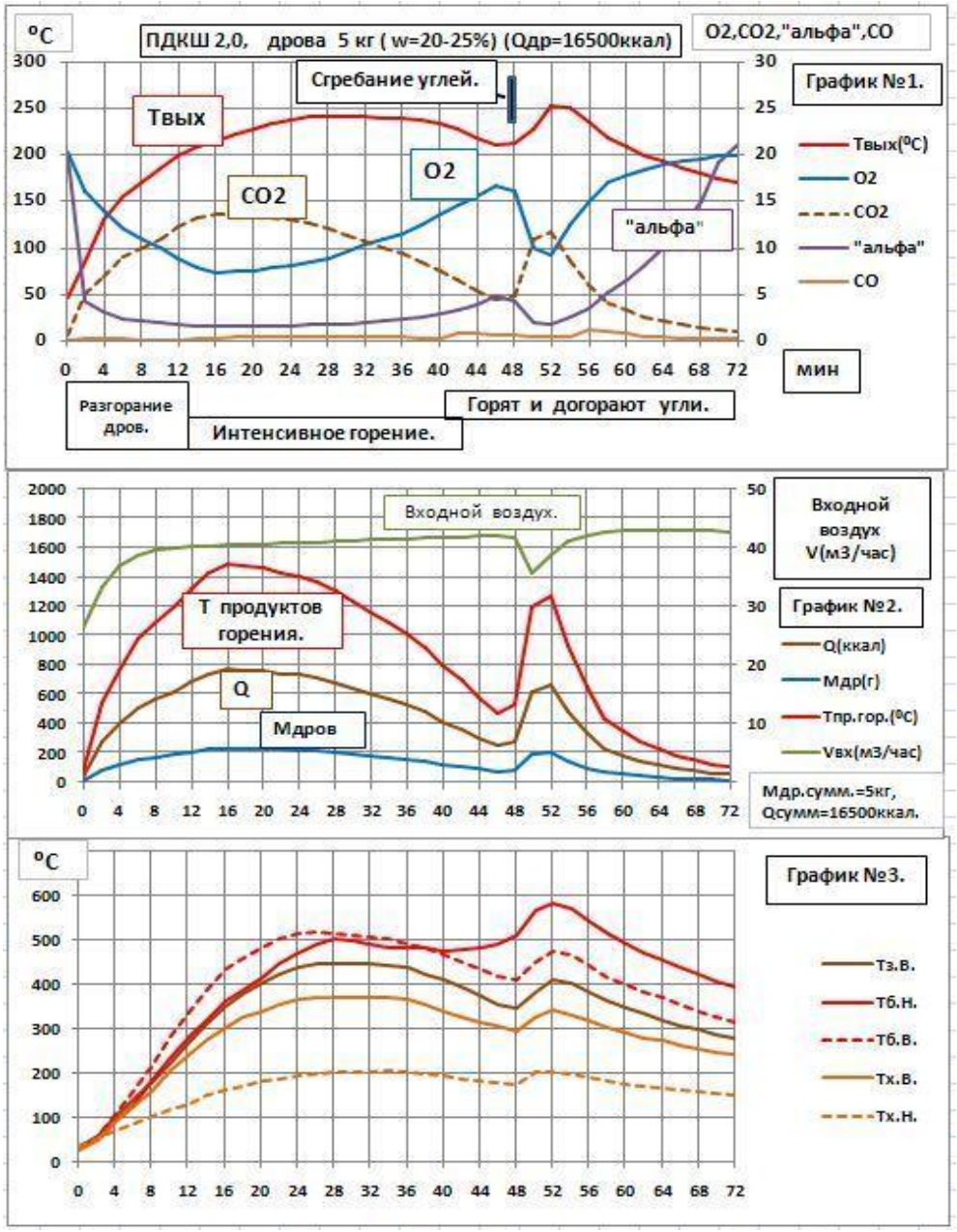

Рисунок 1. Графики тепловых процессов в печи ПДКШ 2,0 при сгорании дров массой 5 кг

Из графика № 1 видно, что к 40—42 минуте практически все летучие сгорают. (Видно визуально и этот момент совпадает с увеличением CO на выходе печи). И остаются гореть угли, которые состоят из углерода в твердом состоянии. На 48 минуте, после сгребания углей со всей площади топки на площадь колосника, начинают интенсивно догорать летучие, которые не успели догореть в углях, находящихся не в зоне колосника. И именно этот всплеск догорания летучих с 48 до 58 мин. и вызывает подъем температур во всех точках печи. На графике № 2 расчетным путем показано,

как количественно происходит сгорание дров в топке и как количественно выделяется тепло из дров.

Графики № 2 построены следующим образом: На графике № 1 есть кривая изменения CO2 от времени горения, полученная по значениям O2 из ГА. (Дискретность замеров показаний приборов 2 минуты). Эта кривая CO2 показывает, как и с какой интенсивностью сгорают дрова в топке и выделяется тепло из сгораемых дров. В данном конкретном случае горела закладка дров массой 5 кг с влажностью W=20—25 %. Общая теплотворная способность этих дров составляет примерно 16500 ккал. Путем небольших математических расчетов, исходя из распределения значений CO2 графика № 1, получены графики сгорания дров по массе и график выделения тепла при сгорании этих дров. Размерность по левой оси. Если просуммировать значения тепла по графику № 2, то получим 16500 ккал. Так же и с общей массой дров 5 кг.

Зная, как распределяется выделение тепла при сгорании дров, можно построить график теоретических температур горячих газов в топке (продуктов сгорания). Температура горячих газов рассчитывалась по упрощенной формуле из [5]

$$Tпр.\ сгор.=Q/(C*V)\ (^0C)$$

где: Q — количество тепла из графика № 2;

C — средневзвешенная теплоемкость (0,408 ккал/нм3^{0}C);

V — объем воздуха, проходящего через печь, за время дискретности замеров, т. е. 2 мин.

Реальные температуры горячих газов будут меньше, так как часть тепла уйдет на нагрев топки. И эта часть зависит и от материала топки, и от ее конструкции, и учесть этот фактор весьма сложно.

Объем воздуха V можно подсчитать по графикам № 1, но для упрощения расчетов эта величина была взята из замеров входного воздуха, проходящего через печь. За две минуты через печь проходит примерно 1,3 м^3. И эта величина практически постоянна на всем участке сгорания дров (график № 2).

Из графика № 2 видно, что на участке от 8 мин до 40 мин идет интенсивное сгорание летучих, и максимальная температура горячих газов при этом достигает 1475 ^{0}С. Величина входного воздуха (м^3/час), проходящего через печь, в процессе сгорания дров, измеряемая анемометром, изменяется незначительно.

Из графика № 2 можно примерно определить, какое количество угля догорает в конце топки и сколько сгорает в процессе горения летучих. С 42 мин по 72 мин горят угли и догорают летучие (с 48 мин по 58 мин) и выделяется 4250 ккал тепла. Примерно одна треть тепла приходится на летучие. На угли остается 2800 ккал. Для углерода теплотворная способность 8100 ккал. Значит, на этом участке сгорает примерно 0,345 кг чистых углей. В 5 кг дров при влажности 20 % содержится:5кг*0,8*0,15=0,6 кг углерода в твердом состоянии. Получается, что в процессе сгорания летучих (с начала горения по 42 минуту) сгорает примерно половина углей, т. е. 0,3 кг.

Выводы

1. При сгорании дров, тепло, получаемое от сгорания летучих, в 2,6 раза больше, чем при сгорании углей, а на участке сгорания летучих, тепла от сгорания летучих в пять раз больше, чем от сгорания углей.

2. При догорании углей, в конце процесса горения дров, тепла выделяется примерно 13 % от общего количества тепла, заключенного в дровах.

3. На участке горения летучих сгорает примерно половина углей от всех углей в дровах.

Способы передачи тепла по топке и в каналах печи: излучение / конвекция

Лучистый теплоперенос начинает превосходить конвективный теплоперенос при температуре выше 130 ^{0}С, если сравнивать теплоотдачу одинаковых по площади нагретых поверхностей. Но в печи совсем другой случай: наружная поверхность закладки горящих дров, которая излучает тепло, нагревающее стенки топки, в несколько раз меньше, чем внутренняя площадь горящей закладки дров. А от внутренней поверхности закладки дров

излучением и конвекцией нагревается воздух, проходящий через дрова. Входной воздух проходит через «решетку» горящих дров, смешивается с «дополнительными продуктами сгорания» и нагревается до температуры «продуктов сгорания». Эта результирующая температура «продуктов сгорания» зависит от коэффициента избытка воздуха«альфа» и от влажности дров. И может достигать значений 1300—1700 ^{0}C. На рисунке 2 приведен график температур «продуктов сгорания» в зависимости от «альфы» и влажности дров. А на рисунке 1 на графике № 2 приведен теоретический график температур горячих газов (продуктов сгорания), полученный выше расчетным путем. Именно эти горячие газы и нагревают топку и каналы печи. Конечно, стенки топки нагреваются и излучением от горящих дров, но только в непосредственной близости от горящих дров или от углей.

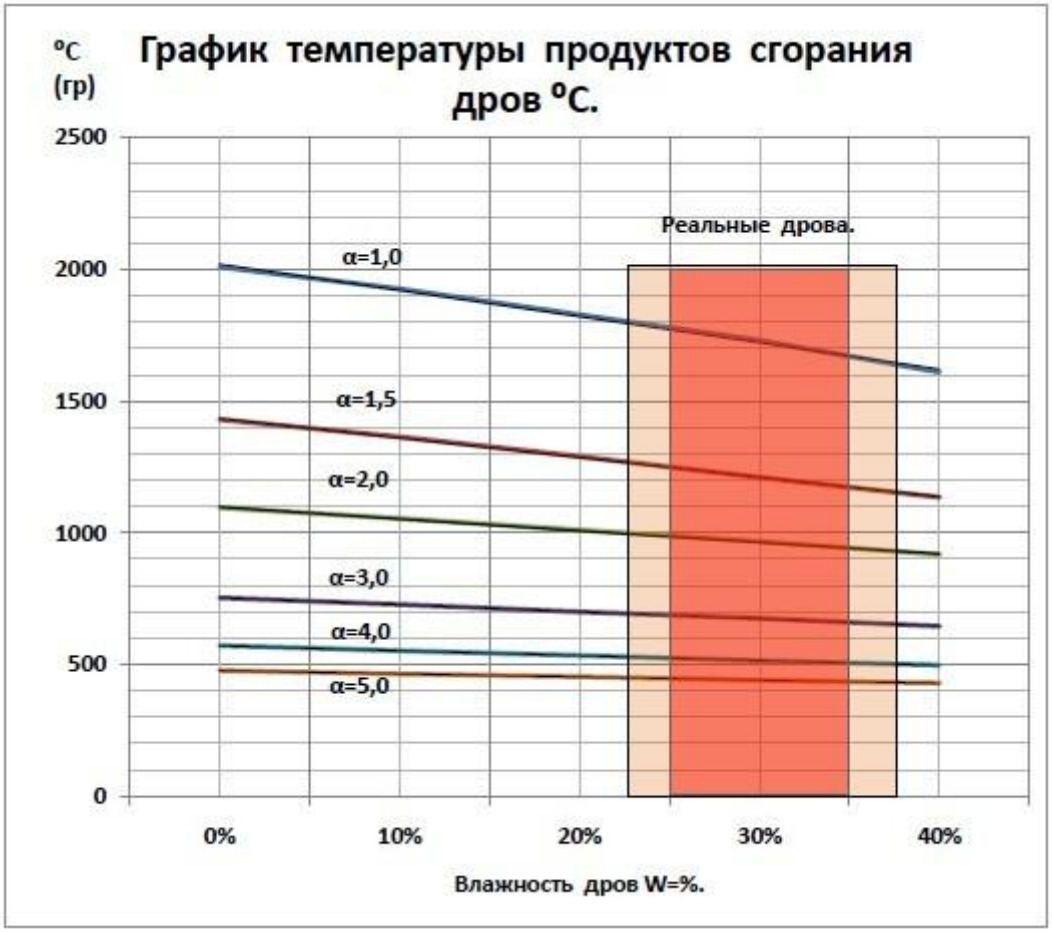

Рисунок 2. График температур «продуктов сгорания» (горячих газов)

Мощность излучения убывает в квадрате от расстояния. И вряд ли от излучения горящих дров может значительно нагреться металлическая плита, расположенная на расстоянии 20—30 см выше закладки дров. А от горячих газов, омывающих плиту, нагреется. Правильно оценить влияние лучистого и конвективного теплопереноса на нагрев топки и каналов печи лучше всего реальными испытаниями с помощью замеров температур на внутренних поверхностях топки и каналов печи.

На рисунке 3 показано расположение термопар в испытуемой печи ПДКШ 2,0. Термопары вмонтированы в массив кирпича так, что измерительная часть термопары находится на поверхности кирпича на глубине 1 мм. Т. е. термопары измеряют реальные температуры на поверхностях кирпичей.

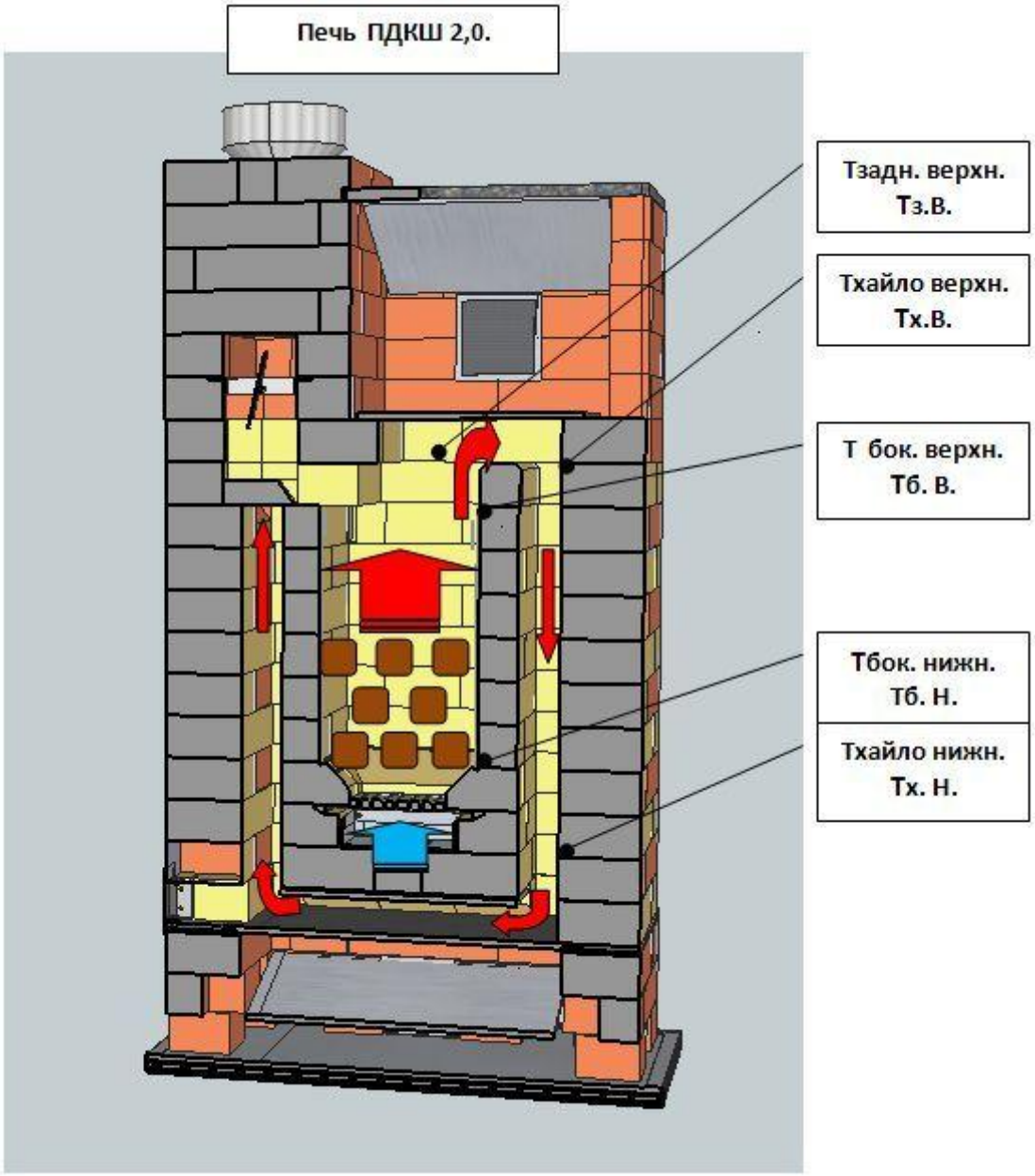

Рисунок 3. Расположение термопар в печи ПДКШ 2,0

На рис. 1 на графике № 3 показаны температуры отдельных зон в печи от времени горения. Из графика видно, что температура в зоне термопары «Тб.Н.», расположенной ближе всего к горящим дровам, на значительном промежутке времени (до 38 мин) меньше, чем «Тб.В.». Хотя там, внизу, наибольшее излучение от горящих дров. И только когда дрова начинают прогорать и угли опадают на колосник, тогда эта зона начинает нагреваться сильнее.

В дополнение можно привести скорости движения воздуха и горячих газов в топке. Средняя скорость воздуха на входе через сечение Sвх=0,0082м2 —

1,4 м/сек; средняя скорость через закладку дров — 0,3 м/сек; средняя скорость газов в верхней части топки — 0,12 м/сек. На рис. 4 приведены графики горения 2 кг древесного угля. Слой угля на колоснике 7—8 см.

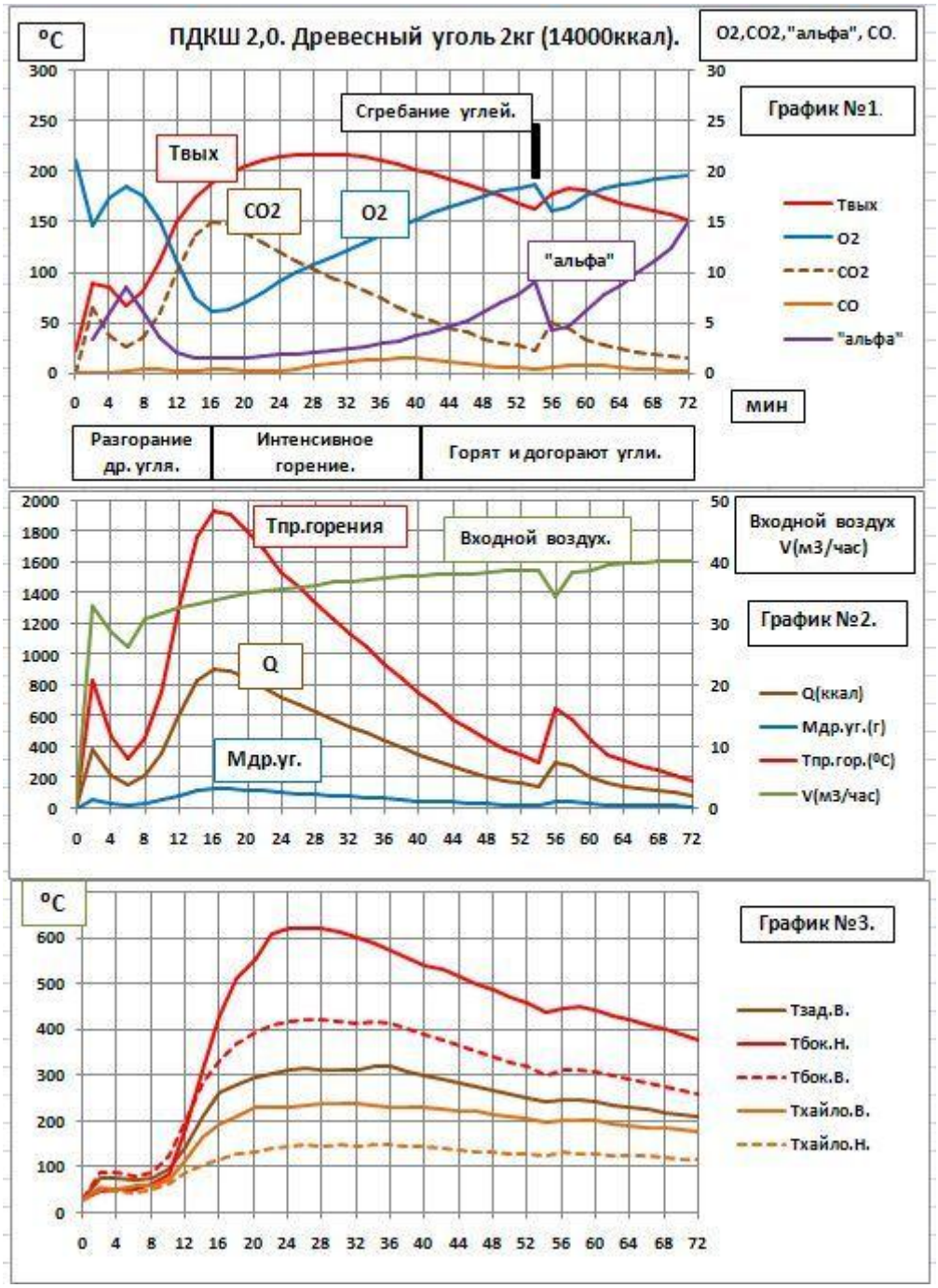

Рисунок 4. Графики тепловых процессов в печи ПДКШ 2,0 при сгорании древесного угля массой 2 кг

Характер процесса сгорания древесного угля очень похож на сгорание дров. Но поскольку в древесном угле значительно меньше летучих, то они быстрее выгорают, но с более высокой температурой. Из графика № 3 видно,

что самым нагреваемым местом является нижняя часть топки «Тбок.Н», где и сконцентрированы горящие угли. Но нагрев всей печи происходит также горячими газами, как и в случае с дровами. Но температуры несколько ниже, т. к. тепла от сгорания 2 кг древесных углей несколько меньше, чем от 5 кг дров. Из графиков № 1 и 2 (рис. 4) видно, что воздух почти так же свободно проходит через слой углей, толщиной 7—8 см, как и через закладку дров. И на выходе еще остается кислород, как и при сгорании дров.

Выводы

1. Основной нагрев топки и нагрев каналов печи осуществляется горячими газами — «продуктами сгорания», температура которых зависит от коэффициента избытка воздуха и от влажности дров. Температура этих газов может достигать 1300—1700 ^{0}C.

2. Нижняя часть топки, примыкающая к закладке дров, нагревается преимущественно излучением от горящих дров.

Сравнение тепла, получаемого при догорании углей с потерями тепла с уходящими газами

На рисунке 5 приведен сравнительный график распределения тепла при сгорании 5 кг дров в печи ПДКШ 2,0 и потери тепла с уходящими газами. Потери с уходящими газами подсчитывались по формуле Зигерта и по классической формуле потерь по измеренному входному объему воздуха и выходной температуре печи.

Рисунок 5. График распределения тепла и потерь с уходящими газами в печи ПДКШ 2,0 при сгорании дров массой 5 кг

Из графиков рисунка 5 видно, что на всем промежутке горения дров величина потерь с уходящими газами почти не изменяется. На участке догорания углей (42—68 мин) количество тепла, уносимого в трубу (потери с уходящими газами) меньше, чем тепло, получаемое от догорания углей. Т. е. до 68 минуты охлаждение печи входным воздухом не происходит. Однако все-таки желательно сокращать время догорания углей.

Выводы

1. Практически на всем участке догорания углей не происходит сильного охлаждения печи входным воздухом.

2. Для снижения суммарных потерь с уходящими газами, желательно сокращать время догорания углей.

Список литературы:

1. ГОСТ 6382-2001. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: http://polyform.com.ru/gost/gost_6382-2001.html (дата обращения 20.03.2015).

2. Козлов В.Н. Реконструкции углежжения на Урале. Теория углежжения. — М. —Л.: АН СССР, 1941.
3. Нагорский Д.В. Общая методика расчета печей. — М.—Л.: АН СССР, 1941.
4. Протопопов В.П.. Печное дело. — М.—Л., 1934.
5. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. — «Наука», 1966.
6. Серков Б.Б., Асеева Р.М., Сивенков А.Б. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 1 (41). — Ч. 2 / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/01-01-12.ttb.pdf (дата обращения: 20.03.2015).
7. Уголь древесный / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: http://ruwikipedia.ru/index.php/Уголь_древесный (дата обращения: 20.03.2015).
8. Хошев Ю.М. Дровяные печи. — М.: Издатель О.Ю. Сотников, 2015.
9. Щеголев М.М. Топливо, топки и котельные установки. — М.: ГИЛСА, 1953.