

Қазақстан Республикасының эталондық базасын ҚР ИДМ «Қазақстан метрология институты» жүргізіп отыр, соның ішінде өлшеу бірлігінің 58 мемлекеттік эталондары бар. Олар:

- Ұзындық бірлігінің мемлекеттік эталоны;
- Жазықтықтан және тікелей сызықтан ауытқу облыстарындағы өлшеудегі ұзындықты бірлікті;
- Жалпақ бұрыш бірлігінің мемлекеттік эталоны;
- Масса бірлігі мемлекеттік эталоны;
- Бринелл шкаласы қаттылық мемлекеттік эталоны;
- Виккерс шкаласы бойынша қаттылықтың мемлекеттік эталоны;
- Роквелл және Супер-Роквелл шкаласы бойынша қаттылықтың мемлекеттік эталоны;
- қосымша қысым эталоны;
- абсолютті қысым үшін эталоны;
- төменгі абсолютті қысым үшін эталоны;
- сұйықтың шығыны эталоны;
- сұйықтың тығыздығы эталоны;
- сыну көрсеткіші бірлігінің мемлекеттік эталоны;
- электрлік сыйымдылық бірлігінің мемлекеттік эталоны;
- күшбірлігінің мемлекеттік эталоны;
- Мемлекеттік уақытпен жиілік эталоны.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Щеголь А. Б. Эталоны основных единиц системы СИ. – Ростов н-Д., 1975.- 14 с.
- [2] Научно-технический журнал Метрология. - №2. – Астана, 2015.– С.7
- [3] Научно-технический журнал Метрология.-№4. – Астана, 2011. –С.23.

Уразова З.Ж., Айтқожаев А.З., Нурмуханова А.З.

Физические константы и их использование в метрологии

Резюме. В данной статье изложено обеспечение единства измерений и постоянство физических констант.

Ключевые слова: метрология, физическая величина, измерение, эталон, контроль качества.

Urazova Z.J., Aytkozhaev A.Z., Nurmuhanova A.Z.

Physical constants and their use in metrology

Summary. In this article assurance of uniformity of measurements and the constancy of physical constants.

Key words: metrology, physical quantity, measurement, benchmark, quality control.

УДК: 662.6:004

В.Е. Мессерле, Л.К. Оразалинова, М.М. Байтанова, А.З. Нурмуханова

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби
Алматы, Республика Казахстан)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ «ПЛАЗМА-УГОЛЬ» ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛАЗМЕННО-ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Изложена математическая модель компьютерной программы ПЛАЗМА-УГОЛЬ для моделирования процессов движения, высокотемпературного нагрева и термохимических превращений пылеугольного топлива, рассмотрены численные исследования плазменной газификации Экибастузского угля.

Ключевые слова: уголь, мазут, плазма, плазменно-топливные системы, математическая модель, ПЛАЗМА-УГОЛЬ.

В основе технологий плазменно-топливных систем лежит плазменная термохимическая подготовка угля к сжиганию. Электродуговая плазма нагревает смесь угольной пыли и воздуха (аэросмесь) до температуры выхода летучих угля и частичной газификации коксового остатка. Тем

самым из аэросмеси исходного угля независимо от его качества получают высокорекреационное двухкомпонентное топливо (горючий газ + коксовый остаток). При его смешении с вторичным воздухом в топке котла двухкомпонентное топливо воспламеняется и устойчиво горит без использования мазута или природного газа, традиционно используемого для растопки котлов из холодного состояния (рисунок 1) [1].

Для проведения численных экспериментов плазменных технологий чаще всего используют программы ТЕРРА, ПЛАЗМА-УГОЛЬ, FLOREAN и др. В программе **ТЕРРА**, основываясь на термодинамические расчеты, определяют состав продуктов и теплофизические константы активированной плазмой аэросмеси в зависимости от температуры, давления среды и мощности плазменного источника. Программа **FLOREAN** позволяет выполнять трехмерное моделирование топки энергетического котла, задавая при этом необходимые параметры системы.

Одномерная программа **ПЛАЗМА-УГОЛЬ** позволяет определить необходимую длину горелки. Также кроме учета плазменного источника, позволяет детально описать кинетику химических реакций, рассчитывает концентрации компонентов смеси (CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , C_6H_6 , N_2 , H_2O), температуры и скорости активированной плазмой аэросмеси вдоль ПТС или горелки, оснащенной плазмотроном (рисунок 1) [2].

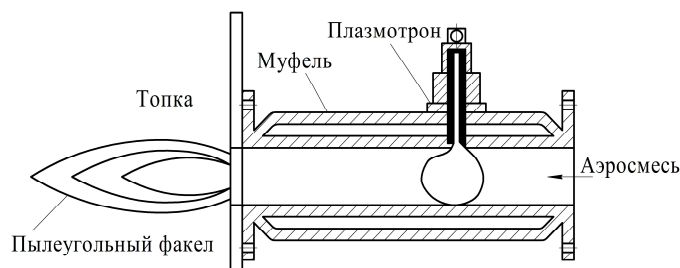


Рис. 1. Схема принципа работы ПТС с муфелем и топкой котла

В основе программы **ПЛАЗМА-УГОЛЬ** лежит математическая модель процесса электрохимической подготовки углей к сжиганию (ЭТХПТ), описывает двухфазный (угольные частицы+воздух) поток, распространяющийся в камере с плазменным источником (электрическая дуга или плазменный факел). Частицы и газ поступают в камеру с одинаковыми температурами, между частицами, газом и плазменным источником происходит тепломассообмен. Также учитываются обмен теплом и импульсом между двухфазным потоком и стенкой камеры. Затем происходит процесс выделения летучих продуктов из угольных частиц, их превращения в газовой фазе и газификация коксового остатка. При расчетах концентрации оксидов азота учитывается образование топливных, термических и быстрых оксидов азота [3].

Для того чтобы упростить математическое описание процесса ЭТХПТ в модели приняты следующие основные допущения:

- предполагается, что процесс одномерный и стационарный;
- процесс ЭТХПТ осуществляется при атмосферном давлении и среднемассовых температурах 1000-1200°C;

- поток газа, как правило, сильно турбулирован и распределения температур, скоростей и концентраций компонентов по радиусу камеры практически равномерны, изменение этих параметров происходит только по оси камеры.

- не учитывается взаимодействие частиц между собой, допускается их изотермичность;

- на входе в камеру ЭТХПТ смесь газа и частиц предполагается однородной [4].

Это существенно упрощает численные расчеты и позволяет ограничиться системой обыкновенных дифференциальных уравнений.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений включает в себя уравнения концентраций компонентов (уравнения химической кинетики) вместе с уравнениями для скоростей и температур газа и частиц [4].

При формировании начальных условий к системе уравнений задаются значения начальных скоростей и температур газа и частиц соответственно, давления на входе в реактор, температуры стенки при $x=0$, массовые расходы газа и твердой фазы, диаметр камеры ЭТХПТ.

На рисунке 3 изображена расчетная схема муфеля с плазмотроном (муфель защищает материал или изделие от контакта с топливом и продуктами его сгорания, в том числе газами).

Плазмотрон (генератор плазмы) - техническое устройство, в котором при протекании электрического тока через разрядный промежуток образуется плазма, используемая для обработки материалов или как источник света и тепла.

Муфель условно разделен на три расчетные ступени. Первая-включает электродуговую зону, в которой плазма нагревает аэросмесь до температуры воспламенения, где начинается процесс газификации угольных частиц. Количество подаваемой аэросмеси определяют таким образом, чтобы мощность электрической дуги была достаточной для инициирования процесса [4].



Рис. 3. Схема цилиндрической камеры ЭТХПТ

Для расчета второй ступени составляют начальные условия, а именно, учитывается нагрев всей аэросмеси на данной ступени, мощность теплового источника и определяется исходный состав угля и газовой фазы. С этой целью первоначально рассчитывается величина тепловой энергии, выделяющаяся в результате химических реакций при смешении газообразных продуктов термохимической подготовки угля, полученных на первой ступени, с кислородом первичного воздуха аэросмеси второй ступени. После этого определяется расстояние вдоль канала, на котором учитывается действие данного теплового источника. Расстояние определяется исходя из времени протекания реакций окисления [5].

Чтобы найти температуру газовой фазы (T) обозначим расход газовой фазы после расчета 1-й ступени G_g , ее теплоемкость C_{pg} и перегрев ΔT_g , а расход исходного газифицирующего агента G_a , его теплоемкость C_{pa} и перегрев ΔT_a можно записать:

$$G_g \cdot C_p \cdot g \cdot \Delta T_g + G_a \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_a = (G_g + G_a) \cdot C_p \cdot \Delta T,$$

Где $C_p = (G_g \cdot C_{pg} + G_a \cdot C_{pa}) / (G_g + G_a)$, и следовательно,

$$\Delta T = (G_g \cdot C_{pg} \cdot \Delta T_g + G_a \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_a) / (G_g + G_a);$$

$$T = \Delta T + 273 \text{ K}$$

На первой ступени небольшая часть топлива (5-10%) подвергается плазменной электротермохимической подготовке. Здесь же осуществляется аллотермический процесс, так как необходимое тепло подается плазмотроном (плазменный источник).

На второй ступени в процесс термохимической подготовки топлива к сжиганию подается основная часть топлива (30-40%), которая является источником тепла для оставшейся аэросмеси (40-50%) на третьей ступени камеры ЭТХПТ. Этот процесс является автотермическим, так как необходимое тепло вносится от продуктов, полученных на предыдущих ступенях.

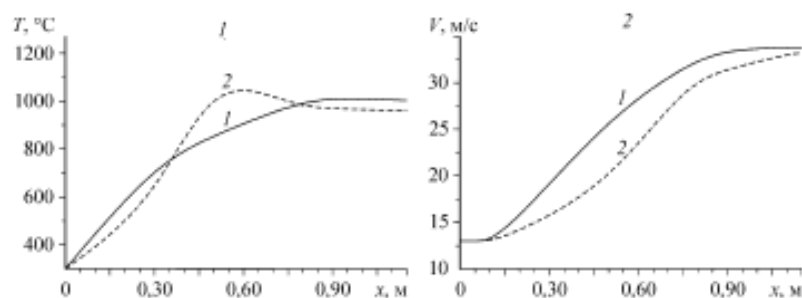
Программа ПЛАЗМА-УГОЛЬ позволяет выполнить одномерный расчет плазменно-угольной горелки. По результатам расчетов определяется необходимая длина горелки. Результаты расчетов также являются исходными данными для трехмерных расчетов процессов сжигания топлива в топке котла после плазменно-угольных горелок.

Также электрическая дуга или плазменный факел учитываются в уравнении сохранения энергии как внутренний источник тепла с эмпирически задаваемым распределением тепловыделения по оси камеры ЭТХПТ.

Рассмотрим пример расчета экспериментальной топки, оборудованной вихревой горелкой, установленной максимально на крышке топки (рисунок 2) в программе ПЛАЗМА-УГОЛЬ. В эксперименте [6] сжигается пыль Экибастузского угля зольностью 45,2 %, выходом летучих 14,7 %, влажностью 1,3 % и теплотой сгорания 15960 кДж/кг. Тонина помола угля составляла $R_{100} = 12,5 \%$, что соответствует среднему размеру частиц 60 мкм.

Исходными параметрами приняты: мощность плазмотрона-36 кВт, начальная температура аэросмеси-300 °С, расход угля и воздуха через ПТС-410 кг/час и 600 кг/час в объеме ПТС длиной 1,15 м.

В расчетах пренебрегалось содержанием в воздухе CO_2 и благородных газов и принималось, что воздух состоит из N_2 (79 об. %) и O_2 (21 об. %).

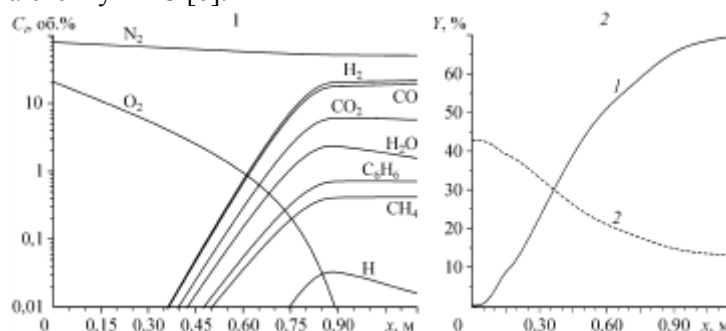


1 - температуры газа (1), частиц (2), 2- скорости газа (1) и частиц (2)

Рис. 3. Изменения по длине ПТС

В результате расчета получены следующие графики процесса ЭТХПТ: распределения температур (рисунок 1), скоростей (рисунок 2) газа и частиц, концентраций компонентов газовой фазы (рисунок 3), степени газификации и концентрации углерода в коксовом остатке (рисунок 4).

Исходя из рисунок 1 видно, что температуры угольных частиц и газа увеличиваются по длине ПТС. На начальном участке $0 < X < 0,35$ м превалирует теплообмен плазменного источника с газовой фазой, от которой нагреваются угольные частицы. Далее на участке $0,35 \leq X < 0,8$ м за счет окисления углерода и соответствующего тепловыделения на поверхности угольных частиц их температура увеличивается до 1121°С, превышая таковую для газа примерно на 264 °С. В результате этого явления наблюдается инверсия температурных кривых на этом участке. Температура газа достигает максимума в 1015°С ($X = 0,9$ м), незначительно уменьшаясь к выходу ПТС ($T = 1002$ °С). При этом температура газа превышает температуру частиц на 41 °С, что связано с теплоотдачей от частиц излучением на стенку ПТС [6].



1-концентраций компонентов газовой фазы, 2- степени газификации (1) и концентрации углерода (2) в коксовом остатке

Рис. 4. Изменения по длине ПТС

На рисунок 2 скорости газа и частиц одинаковые на входе в ПТС, также возрастают по длине, достигая на выходе из системы максимума в 33,8 и 33,2 м/с соответственно. При этом скорость газа

превышает скорость частиц по всей длине ПТС. Отметим, что скорость потока на выходе из ПТС значительно превышает скорость аэросмеси на выходе традиционных пылеугольных горелок [6].

Таблица 1. Характеристики продуктов ЭТХПТ на выходе ПТС

Состав газовой фазы (об. % и кг/ч)							Зола, кг/ч	С, кг/ч
H ₂	CO	CH ₄	C ₆ H ₆	CO ₂	H ₂ O	N ₂		
21,6	19,2	0,4	0,7	5,8	1,6	50,8	185,3	68,4
14,0	174,2	2,2	18,0	82,2	9,1	462,0		

Температура газа, °С	Температура частиц, °С	Скорость потока, м/с
1002	961	33,8

При нагреве угольных частиц наблюдается выделение летучих угля с одновременной газификацией углерода коксового остатка (рисунок 4). Концентрации горючих компонентов (CO, H₂, H, CH₄, C₆H₆) возрастают по длине ПТС при максимуме 41,8 % на выходе из системы. При этом концентрация окислителей (CO₂, H₂O, O₂) на выходе ПТС суммарно не превышает 7,3 %. Концентрация азота (N₂) по длине ПТС снижается от 79 до 50,8 % на выходе из нее. Концентрация углерода в коксовом остатке снижается, а степень газификации углерода (см. рисунок 4) возрастает по длине ПТС, достигая на выходе 69,5 %, что вполне достаточно для получения высокорекреационного двухкомпонентного топлива, интенсивно воспламеняющегося при смешении с вторичным воздухом в топочном пространстве. Теплота сгорания коксового остатка составила 7200 кДж/кг [6].

Программа ПЛАЗМА-УГОЛЬ позволяет моделировать двухфазный (угольные частицы и газ-окислитель), химически реагирующий поток с внутренним источником тепла (электрическая дуга, плазменный факел или химические реакции) [5-7]. В модели используется детальная кинетическая схема химических превращений, учитывающая, наряду с реакциями выхода летучих и газификации коксового остатка дальнейшие превращения их продуктов в газовой фазе [7].

Температурная зависимость констант скоростей реакций описывается уравнением Аррениуса:

$$K = A e^{-E_a/RT}$$

Здесь А - характеризует частоту столкновений реагирующих молекул, R- универсальная газовая постоянная. С помощью программы ПЛАЗМА-УГОЛЬ рассмотрены численные методы исследования плазменной газификации твердого топлива. Таким образом, использование плазменной технологии для решения вопросов безмазутной растопки котла и замене мазутной горелки плазмотронами, согласно расчетам, дает в результате: снижение механического недожога топлива и содержание углерода в уносах, снижает выбросы оксидов азота, уменьшает выбросы оксидов серы, повышает эффективность использования угля. Это показывает, что при поддерживаемом плазмой горении угля все основные характеристики процесса улучшаются, следовательно, использование плазменно-топливных систем на ТЭЦ имеет положительный экологический и экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карпенко Е.И., Жуков М.Ф., Мессерле В.Е. и др. Научно-технические основы и опыт эксплуатации плазменных систем воспламенения углей на ТЭС. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. - 137 с.
- [2] Карпенко Е.И., Мессерле В.Е. Плазменно-энергетические технологии топливоиспользования. - Новосибирск: Сиб. предприятие РАН, 1998. – 385 с.
- [3] Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Математическая модель процессов воспламенения, горения и газификации пылеугольного топлива в устройствах с электрической дугой // Теплофизика и аэромеханика. 1995. Т. 2, № 2. С. 173–187 с.
- [4] Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Плазменное воспламенение и горение твердого топлива. - Саарбрюкен, Германия: PalmariumAcademicPublishing. 2012. – 367с.
- [5] Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Комплексная плазмохимическая переработка твердых топлив. - Вестник КазНУ. Серия хим., 2012. - Т.68. №4. - С. 101-106.
- [6] В.Е. Мессерле, А.Б. Устименко, А.С. Аскарлова, А.О. Нагибин. Горение пылеугольного факела в топке с плазменно-топливной системой. - Алматы: Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики, 2010-10 с.

[7] Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Переработка топлив в плазмохимических реакторах. - Вестник КазНУ. Серия хим., 2013.- Т.71. - №3. - С. 36-44.

Мессерле В.Е., Оразалинова Л.К., Байтанова М.М., Нұрмұханова А.З.

Плазма-жанармайлық жүйелерді есептеу үшін "ПЛАЗМА-КӨМІР" математикалық моделі

Түйіндеме. Бұл жұмыста тозақ-көмірлік жанармайдың термохимиялық ауысуы және жоғарғы температуралық қызу кезіндегі қозғалыс процесстерін модельдеу үшін ПЛАЗМА-КӨМІР компьютерлік бағдарламасының математикалық моделі баяндалған, Екібастұз көмірінің плазмалы газдандырудың сандық зерттеулеріні қарастырылған.

Түйін сөздер: көмір, мазут, плазма, плазма-жанармайлық жүйе, математикалық модель, ПЛАЗМА-КӨМІР.

Messerle V.E., Orazalinova L. K., Baitanova M. M., Nurmuhanova A.Z.

"PLASMA-COAL" mathematical model for the plasma-fuel systems calculation

Summary. This article describes a mathematical model of a computer program PLASMA-COAL for modeling processes of motion, high-temperature heating and thermochemical transformation of pulverized coal, and numerical study plasma gasification of Ekibastuz coal.

Key words: coal, oil, plasma, plasma-fuel system, mathematical model, PLASMA-COAL.