

УДК 533.9.004.14:533.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАЗМЕННО-ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ НА ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ КАЗАХСТАНА

*Мессерле В.Е., *Устименко А.Б., *Нагибина Н.Б., *Матвеев В.А.*

Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия,

Институт проблем горения,

** НТО Плазмотехника, научно-исследовательский Институт
экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби,
г. Алматы, Казахстан, E-mail: ust@physics.kz*

Мировая энергетика в настоящее время и на обозримую перспективу (до 2100 г.) ориентирована на использование органического топлива, главным образом низкосортных углей, доля которых в выработке электроэнергии составляет 40%, а тепловой – 24%. В этой связи повышение энергоэффективности пылеугольных тепловых электростанций является приоритетной задачей современной теплоэнергетики. Рассматриваемые плазменно-топливные системы (ПТС) для безмазутной растопки котлов, подхвата и стабилизации горения пылеугольного факела отвечают этим требованиям. В последнее время актуальность этой плазменной технологии возрастает еще больше в связи с истощением запасов нефти и газа, снижением качества твердых топлив и замедлением прироста мощностей АЭС.

В настоящей работе представлены результаты цикла исследований и применения прямоточных, вихревых и муфельных ПТС на пылеугольных котлах Усть-Каменогорской ТЭЦ, Шахтинской ТЭЦ, Алматинской ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 (Казахстан). Исследованы ПТС на котлах с системами пылеприготовления с прямым вдуванием пыли (Шахтинская ТЭЦ и Алматинская ТЭЦ-2) и промежуточным бункером пыли (Усть-Каменогорская ТЭЦ и Алматинская ТЭЦ-3) [1-6].

В основе технологии плазменного воспламенения угля и реализующих ее ПТС лежит электротермохимическая подготовка топлива к сжиганию (ЭТХПТ). Суть ЭТХПТ заключается в нагреве плазменным факелом при дефиците кислорода потока пылеугольной смеси в специальной камере до температуры, превышающей температуру самовоспламенения данного угля. При этом происходит практически полный выход летучих и частичное сгорание и/или газификация углерода угля. В результате в топке полученная топливная смесь или высокореакционное двухкомпонентное топливо (ВДТ), состоящее из горючего газа и коксового остатка, воспламеняется при смешении с вторичным воздухом и устойчиво горит без использования для стабилизации факела второго вида высокореакционного топлива (газа или мазута) даже в холодной топке. Процесс ЭТХПТ осуществляется в ПТС.

Рассмотрим процесс ЭТХПТ на примере оснащенного вихревой ПТС котла БКЗ-75 Шахтинской ТЭЦ (рис. 1). Четыре горелки установлены по две с фронта и с тыла в один ярус (рис. 1а). В кotle сжигается каменный уголь зольностью 30 % с расходом через горелку (или ПТС) 3200 кг/ч. Расход первичного

воздуха через горелку – 6400 кг/ч, мощность плазмотрона – 200 кВт и длина ПТС (рис. 1б) – 2,3 м. Численное моделирование процесса ЭТХПТ в ПТС выполнено с помощью одномерной математической модели Plasma-Coal [1, 2]. В ней детально рассматриваются аэродинамика, теплообмен и кинетический механизм термохимических превращений топлива в двухфазном потоке с плазменным источником. Результаты расчетов по модели позволили определить геометрические размеры ПТС, необходимую мощность плазмотрона, температуру, скорость и состав продуктов ЭТХПТ (табл. 1). Эти результаты использовались в качестве начальных условий для трехмерного численного моделирования горения ВДТ в топке котла БКЗ-75 с использованием программы Cinar ICE [3, 5, 6]. Результаты 3D моделирования показали, что при работающих ПТС воспламенение пылеугольного факела начинается раньше, фронт горения смещается к месту установки ПТС в топке котла, что приводит к снижению температуры отходящих газов, концентрации в них оксидов азота и мехнедожога топлива, по сравнению с традиционным режимом сжигания угля без плазменной активации горения.

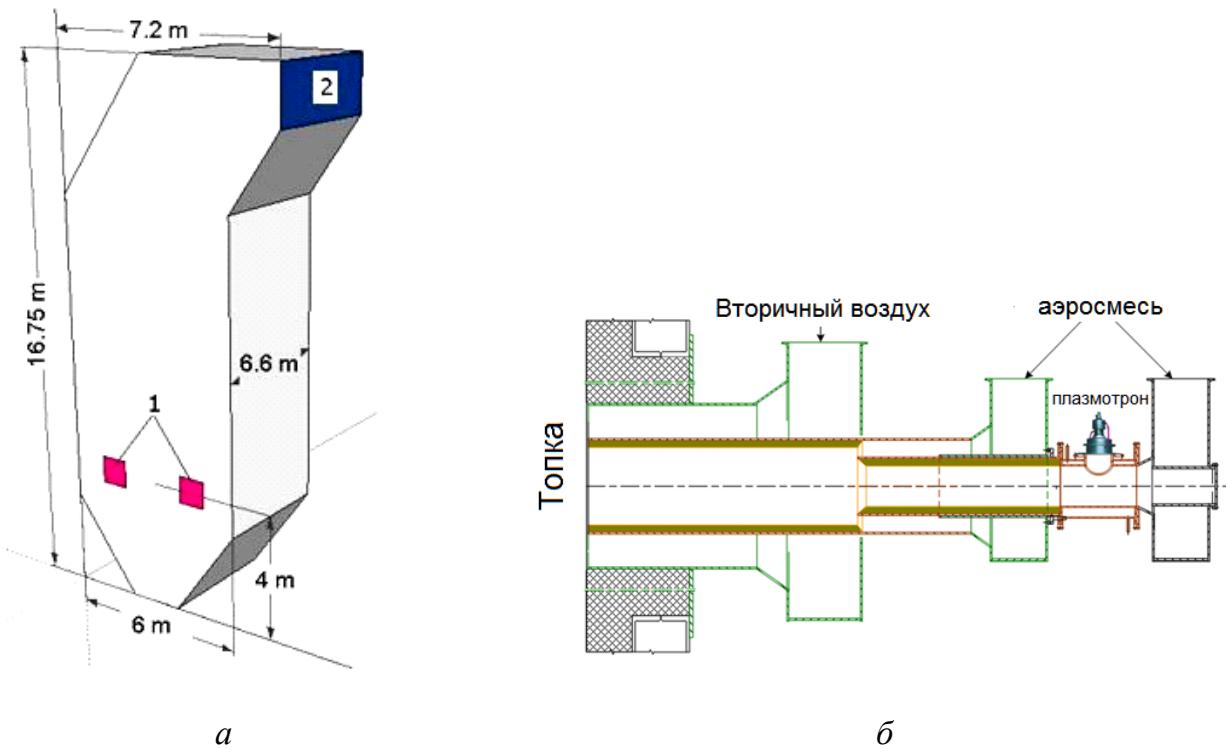


Рис. 1. Общий вид топки котла БКЗ-75 паропроизводительностью 75 т/ч (а) и ПТС (б):
1 – амбразуры для установки ПТС, 2 – сечение поворотной камеры котла.

Таблица 1. Состав продуктов ЭТХПТ

Состав газовой фазы (об.% и кг/ч)								A ^C , кг/ч	C ^C , кг/ч
H ₂	CO	CH ₄	C ₆ H ₆	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂		
14.2	18.4	0.3	0.6	6.8	2.9	56.4	0.3		
88.5	1599.0	14.0	133.8	931.2	162.8	4911	31.0	1123.2	816.0
Температура газа (°C)				Температура частиц (°C)				Скорость потока (м/с)	
1000				1000				189.4	

Результаты расчета приведены на рис. 2, наглядно демонстрирующем различие полей температуры в трех режимах сжигания угля в топке, традиционном (рис. 2 a), с ЭТХПТ в двух ПТС (рис. 2 b) и в четырех ПТС (рис. 2 c). В традиционном режиме четыре симметричных факела с максимальной температурой 1852 °C образуют в центральной области топки общее ядро факела с температурой около 1300 °C. На рис. 2 b ПТС расположены сверху: влияние ПТС проявляется в изменении формы факела ВДТ, увеличении его длины и повышении максимальной температуры до 2102 °C. При работе четырех ПТС (рис. 2 c) длина факелов возрастает еще больше, а максимальная температура снижается до 1930 °C. По результатам моделирования котла БКЗ-75 выполнен проект его оснащения ПТС для безмазутной растопки и стабилизации горения пылеугольного факела.

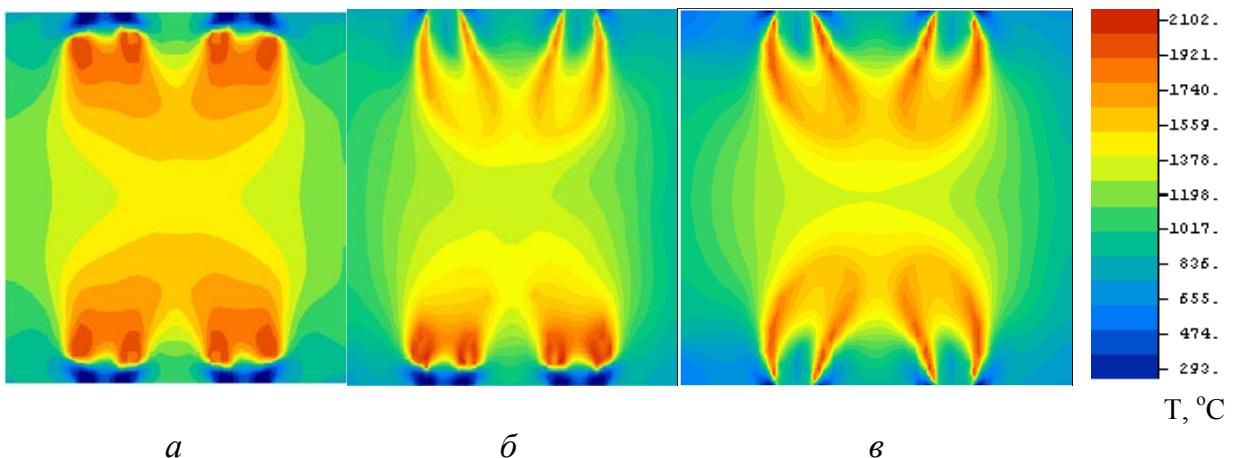


Рис. 2. Поле температур в поперечном сечении топки в плоскости расположения горелок при традиционном режиме работы (a), с использованием двух ПТС ($б$) и с использованием четырех ПТС ($в$)

Котел ЦКТИ-75 Усть-Каменогорской ТЭЦ (рис. 3) оснащен тремя основными турбулентными пылеугольными горелками и двумя растопочными муфельными горелками, в которые были встроены ПТС. На котле сжигался Кузнецкий каменный уголь зольностью 17,7 % и теплотой сгорания 4878 ккал/кг. В процессе испытаний ПТС на этом котле расход угольной пыли через каждую ПТС составлял 1,5 т/ч, а первичного воздуха – 2,6 т/ч. Расход угольной пыли через основные горелки составлял 11,5 т/ч. Мощность плазмотрона варьировалась от 60 до 70 кВт, а его тепловой КПД составлял 85–86 %. Температура факела ВДТ на выходе из ПТС изменялась в интервале 1040–1240 °C. Относительные затраты на плазмотрон составляли 0,5 – 0,7% от тепловой мощности муфельной горелки, концентрация NOx на выходе из ПТС не превышает 20 мг/нм³ при выходе синтез-газа (CO+H₂) более 60%. Через 35 мин. работы ПТС был достигнут стационарный тепловой режим муфельной горелки, после чего плазмотроны были отключены и горение факелов поддерживалось разогретыми муфелями. Длина факелов, выходящих из муфельных горелок достигала 3 м. Безмазутная растопка котла продолжалась 3,25 ч, после чего котел был подключен к главному паропроводу ТЭЦ.

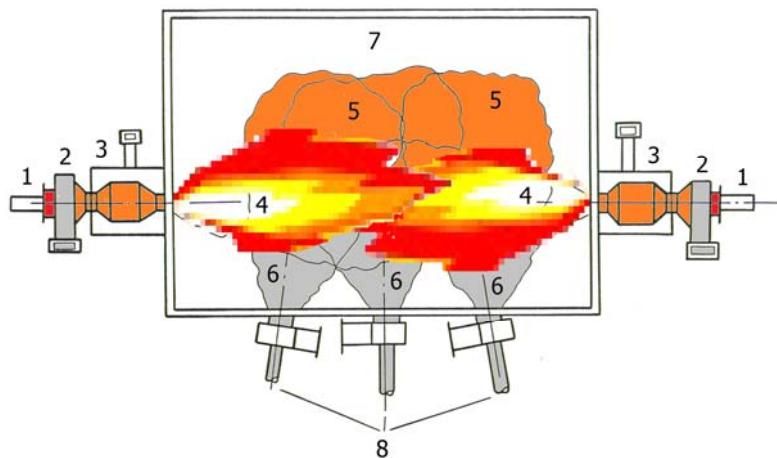


Рис. 3. Вид в плане топочной камеры котла ЦКТИ-75 паропроизводительностью 75 т/ч Усть-Каменогорской ТЭЦ с ПТС: 1 – плазмотрон, 2 – камера ЭТХПТ, 3 – муфельная горелка, 4 – факел ВДТ из ПТС, 5 – пылеугольный факел, 6 – аэросмесь из основных горелок, 7 – топка, 8 – основные пылеугольные горелки.

Котел БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3 оборудован четырьмя блоками двухярусных щелевых пылеугольных горелок (рис. 4б). Расход Экибастузского угля зольностью 45% и теплотой сгорания 3800 ккал/кг составлял 4 т/ч через каждую горелку. Две ПТС были установлены в нижнем ярусе горелок по диагонали (рис. 4а) и включались на мощность 120–140 кВт (ток 350–450 А, напряжение 300–350 В). Воспламенение факелов в топке наблюдалось через 2–3 секунды после подачи угольной пыли с расходом до 3 т/ч через каждую ПТС. Температура пылеугольного факела на выходе из ПТС достигала 1200–1300 °C, а его длина 5–6 м. При этих параметрах наблюдалось образование ядра факела ярко желтого цвета в центре топки. Через 3,5 часа от начала растопки параметры котла достигли рабочих значений, и он был подключен к главному паропроводу, после чего была подана аэросмесь на все горелки.

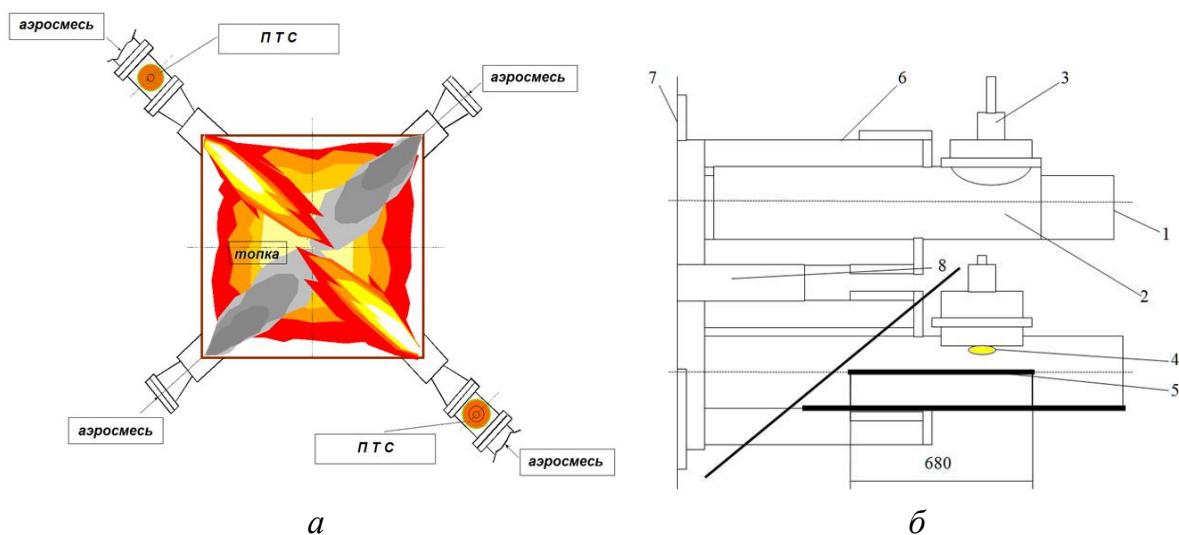


Рис. 4. Схема топки котла БКЗ-160 паропроизводительностью 160 т/ч (а) и эскиз прямоточной ПТС – блока горелок с плазмотронами (б): 1 – пылепровод, 2 – камера ЭТХПТ, 3 – плазмотрон, 4 – плазменный факел, 5 – перегородка, 6 – короб вторичного воздуха, 7 – граница топки, 8 – канал для установки мазутной форсунки.

Согласно нормативам на одну растопку расходуется 12 т топочного мазута, что по теплотворной способности эквивалентно 30 т Экибастузского угля. Вместо этого на одну растопку в среднем расходовалось около 16,5 т угля, что подтверждает энергетическую эффективность ЭТХПТ. Относительные затраты электроэнергии на плазмотроны составили 1,2–1,4% от тепловой мощности пылеугольных горелок.

Котел БКЗ-420 паропроизводительностью 420 т/ч Алматинской ТЭЦ-2 оснащен 6 пылеугольными вихревыми лопаточно-лопаточными горелками. Двухпоточные как по первичному, так и по вторичному воздуху горелки расположены с фронта котла в два яруса (рис. 5). Номинальный расход Экибастузского угля зольностью 40 % и теплотой сгорания 4000 ккал/кг составляет 11 т/ч через одну горелку. 3 ПТС (рис. 5б) устанавливались треугольником вверх вместо основных пылеугольных горелок (рис. 5а).

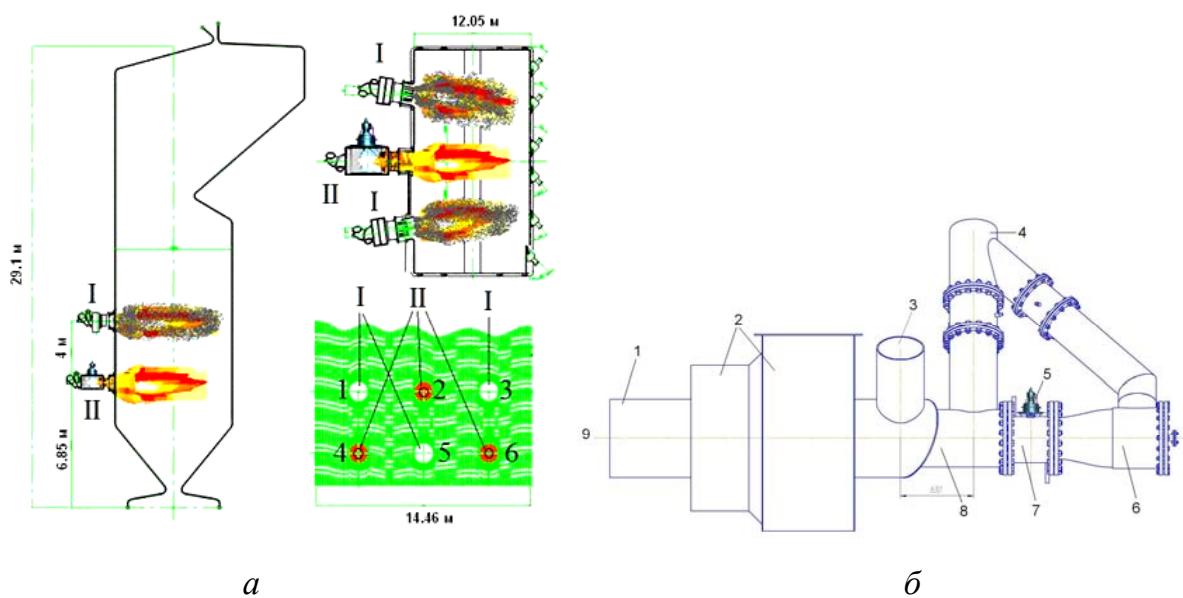


Рис. 5. Схема компоновки ПТС и основных пылеугольных горелок (а) и общий вид ПТС на котле БКЗ-420 АТЭЦ-2: I – штатная вихревая двухпоточная пылеугольная горелка, II – ПТС, 1 – канал внешнего потока аэросмеси, 2 – короб вторичного воздуха, 3 – подвод внешнего потока аэросмеси, 4 – подвод внутреннего потока аэросмеси, 5 – плазмотрон, 6 – камера подачи аэросмеси к плазмотрону, 7 – камера ЭТХПТ, 8 – камера смешения и термохимической подготовки топлива, 9 – топочное пространство.

Во время испытаний был получен устойчивый пылеугольный факел (рис. 6) от ПТС в холодной топке. В процессе испытаний ПТС по достижению необходимой концентрации пыли в аэросмеси наблюдалось воспламенение пылеугольного факела в холодной топке котла на выходе из горелок № 2, 4, 6 (рис. 5а). Измерение температуры факелов через смотровые лючки цифровым пирометром показало, что сразу после воспламенения температура факелов составляла 700–800 °С, повышаясь до 1050–1070 °С. При этом в начале воспламенения наблюдались пульсации горящих факелов в топке, стабилизирующихся по мере ее прогрева и подачи 30–40% вторичного воздуха на горелки № 2, 4, 6. Через 67 минут после плазменного воспламенения пылеугольных факелов температура первичного воздуха составила 75 °С, температура в барабане – 143 °С, температура га-

зов за топкой – 192 °С. Скорость повышения температуры горячего воздуха при этом составляла около 1,5 град./мин, что соответствует скорости повышения температуры при мазутной растопке котлоагрегата.

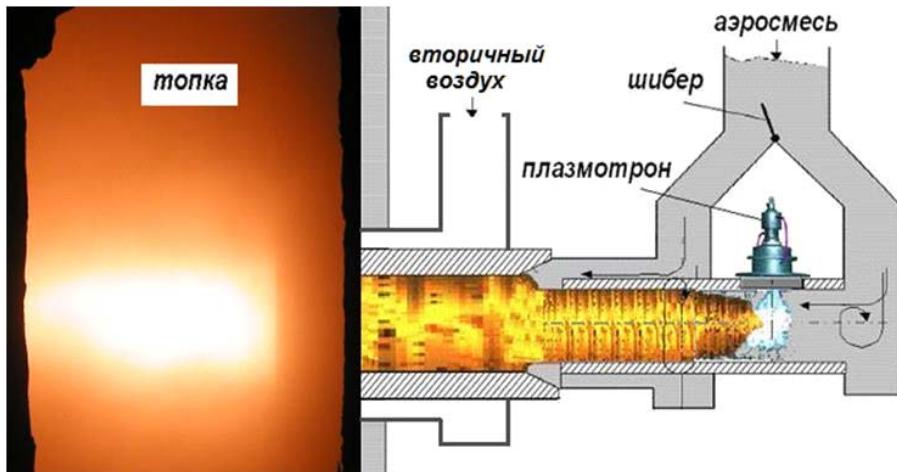


Рис. 6. Вид факела от ПТС №4 через смотровой лючок в боковой стенке котла (35 минута после плазменного воспламенения пылеугольного факела в горелке №4).

Моделирование и испытания ПТС на действующих пылеугольных котлах ТЭС подтвердили техническую реализуемость, экологическую и энергетическую эффективность безмазутной растопки котлов и стабилизации горения пылеугольного факела с использованием ПТС.

Литература

1. Калиненко Р.А., Левицкий А.А., Мессерле В.Е., Полак Л.С., Сакипов З.Б., Устименко А.Б. Электротермохимическая подготовка низкореакционных углей. Математическая модель и эксперимент. // Химия высоких энергий, 1990. Т. 24, № 3. С. 272-277.
2. Даутов Г.Ю., Тимошевский А.Н., Юрков Б.А., ..., Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Перегудов В.С., Устименко А.Б., ... Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии: Проблемы и перспективы (Плазменно-энергетические технологии для улучшения экологических и экономических показателей сжигания и газификации пылевидного угля, С.341-366). // Низкотемпературная плазма. Т. 20. Новосибирск: Наука, 2004. 464 с.
3. Karpenko E.I., Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma-aided solid fuel combustion. // Proceedings of the Combustion Institute. Elsevier, 2007. Vol. 31. Part II. P. 3353-3360.
4. Карпенко Е.И., Карпенко Ю.Е., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. Использование плазменно-топливных систем на тепловых электрических станциях России, Казахстана, Китая и Турции. // Химия высоких энергий, 2009. Т. 43, № 3. С. 271-275.
5. Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Тютебаев С.С., Лукьянченко В.Г., Шевченко В.Н., Степанов И.Г., Умбеткалиев К.А., Нагибин А.О., Козак В.Н., Карпенко Е.И., Лобычин С.В., Карпенко Ю.Е. Применение плазменного воспламенения твердых топлив на Алматинской ТЭЦ-2. // Вестник КазНУ им. аль-Фараби. Серия химическая, 2011. N 3 (63). С.168-172.
6. Мессерле В.Е., Карпенко Е.И., Устименко А.Б., Тютебаев С.С., Карпенко Ю.Е., Еремина Т.В. Моделирование и испытания плазменно-топливных систем на котле БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2. // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Научный журнал, 2012. № 2 (37). С. 21-27.