

## СВЧ-плазменная технология сжигания угольной пыли

Д. М. Ваврив, В. И. Казанцев<sup>1</sup>, П. М. Канило<sup>2</sup>, Н. И. Расюк<sup>3</sup>,  
К. Шунеманн<sup>4</sup>, С. В. Грицаенко, А. В. Тымчик<sup>2</sup>

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4  
E-mail: vavriv@rian.kharkov.ua*

<sup>1</sup>*Институт радиоэлектроники и лазерной технологии при МВТУ им. Баумана,  
Россия, 107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 2*

<sup>2</sup>*Институт проблем машиностроения НАН Украины,  
Украина, 61046, г. Харьков, ул. Пожарского, 2/10*

<sup>3</sup>*Харьковское центральное конструкторское бюро Министерства топлива и энергетики Украины,  
Украина, 61061, г. Харьков, пр. Ленина, 50*

<sup>4</sup>*Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Hochfrequenztechnik,  
AB 2-11, Denickestraße, 22, 21073 Hamburg, Deutschland*

*Статья поступила в редакцию 24 октября 2001 г.*

Описан стенд для изучения СВЧ-плазменной технологии поджига и сжигания угольной пыли. Представлены полученные на стенде результаты экспериментов по исследованию энергетических и термохимических характеристик взаимодействия СВЧ-плазмы с угольной пылью. Предложена конструкция промышленной плазменной горелки и обсуждены перспективы практического внедрения разрабатываемой технологии в производство промышленных горелок котлов тепловых электростанций.

Описано стенд для дослідження НВЧ-плазмової технології підпалу та спалювання вугільного пилу. Подано отримані на цьому стенді результати експериментів з дослідження енергетичних та термохімічних характеристик взаємодії НВЧ-плазми з вугільним пилом. Запропоновано конструкцію промислової плазмової горілки та обговорено перспективи практичного запровадження технології, що розробляється, в промислових горілках котлів теплових електростанцій.

### 1. Введение

В настоящее время уголь является главным источником энергоресурсов в топливно-энергетическом комплексе Украины и многих других стран. В связи с изменением технологии добычи угля и выработкой его запасов на существующих шахтах качество поступающего на электростанции угля резко ухудшилось. При этом выход летучих компонент, например, донецких углей типа АШ обычно не превышает ~ 6 %.

Предполагается, что тенденция к ухудшению качества угля сохранится и далее [1-3].

В настоящее время на ТЭС Украины основной технологией использования топлива является прямое сжигание угля в факеле. В этом случае для обеспечения розжига и стабилизации процесса горения используются значительные добавки (20 % и больше) высококачественного топлива – природного газа или топочного мазута, – стоимость которого постоянно растет. В связи с этим обеспечение

эффективного самоподдерживающегося сгорания низкокачественных угольных смесей является весьма актуальной проблемой. Она в определенной степени может быть решена путем использования технологии циркулирующего кипящего слоя, однако этот способ требует реконструкции существующих электростанций со значительными затратами трудовых и финансовых ресурсов.

Одним из перспективных путей решения проблемы сжигания угольной пыли с низким содержанием летучих компонент (антрациты, тощие угли) является применение плазменной термической подготовки пылевидного топлива перед сжиганием. Плазма обеспечивает практически все эффекты, достигаемые другими способами активации топлива. Кроме того, применение плазмы связано с целым рядом дополнительных преимуществ. Это высокая температура реагентов и большая концентрация энергии в единице объема; значительное количество возбужденных частиц – атомов, радикалов, ионов; возможность использования широкой гаммы гомогенных и гетерогенных рабочих сред; простота автоматизации управления процессом в силу малой инерционности плазмы. Благодаря высокой температуре плазмы попадающие в нее частицы топлива испытывают тепловой удар и дробятся, в результате чего увеличивается поверхность взаимодействия топлива с окислителем и интенсифицируются химические реакции. При таких температурах происходит высокоскоростной нагрев, и возможно протекание реакции в изотермических условиях, вследствие чего парогазовых продуктов может выделяться в 2 – 3 раза больше, чем при медленном нагреве. Оставшийся полукокс, содержащий 50 ÷ 70 % органической массы исходного угля, имеет более пористую структуру и горит активнее исходного угля.

К настоящему времени накоплен определенный опыт разработки и применения плазменных горелок для розжига и стабилизации горения угольной пыли [4-7]. При этом основное внимание уделялось разработке горелок на основе дуговых плазмотронов. Вместе с тем представляется перспективным применение в таких горелках СВЧ-плазмотронов. Такие плаз-

мотроны не требуют использования специальных угольных электродов и дают возможность получить однородное и легко контролируемое образование плазмы практически в любом месте горелки или топки. СВЧ-энергия, необходимая для поджига плазмы, достаточно просто может быть подведена как в топочный объем горелки, так и в каналы транспортировки угольной пыли на существующем оборудовании ТЭС без внесения существенных конструктивных изменений.

Технология применения СВЧ-плазмотронов для розжига и стабилизации горения угольной пыли до последнего времени оставалась малоизученной. Целью исследований, результаты которых представлены в настоящей работе, являлось изучение основных особенностей взаимодействия угольной пыли с СВЧ-плазмой, определение энергетических характеристик СВЧ-плазменных горелок и выработка рекомендаций по их практическому применению. Для выполнения такой программы исследований был разработан и изготовлен специальный экспериментальный стенд с СВЧ-плазменной горелкой и соответствующим диагностическим и измерительным оборудованием.

## 2. Экспериментальный стенд

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 1, а его фотография приведена на рис. 2. Стенд включает в себя следующие компоненты: реакционную камеру (реактор); систему воздухоподачи; систему подачи мелкодисперсной угольной пыли; систему питания природным газом (метаном); СВЧ-генератор с циркулятором и волноводной системой; коаксиальный СВЧ-плазмотрон; измерительную аппаратуру для контроля параметров функционирования систем (давления, температуры, расхода воздуха и угольной пыли); систему отбора и анализа проб продуктов сжигания; контрольно-измерительную аппаратуру для исследования процессов горения и газификации угля.

Основные технические характеристики стенда:

– температура воздуха на входе в реакционную камеру 293 ÷ 523 К;

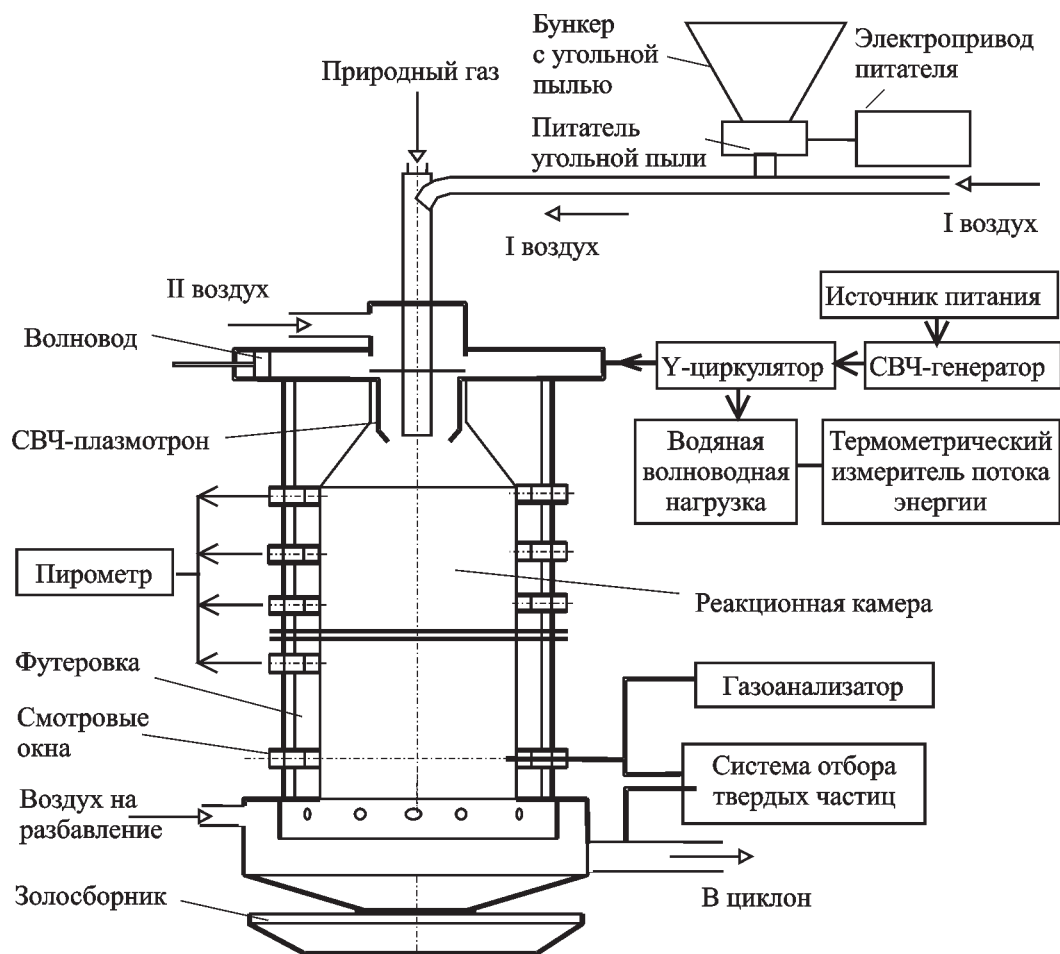


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

- давление воздуха  $0.1 \div 0.2$  МПа;
- расход первичного (I) воздуха  $0 \div 60$  кг/ч;
- расход вторичного (II) воздуха  $0 \div 30$  кг/ч;
- расход угля  $3 \div 35$  кг/ч;
- мощность СВЧ-генератора  $2 \div 5$  кВт;
- частота СВЧ-генератора 2.45 ГГц.

Реакционная камера имеет цилиндрическую форму высотой 1 м и диаметром 0.125 м. Стенки ее сделаны водоохлаждаемыми и изнутри футерованы огнеупорным корундовым бетоном, состоящим из  $Al_2O_3$  (85 %),  $SiO_2$  (7.5 %),  $P_2O_5$  (3.9 %), а также небольшого количества оксидов железа и других металлов. Такая футеровка обеспечивает минимальные потери СВЧ-энергии в камере. Вода для охлаждения подается из водопроводной сети и после использования сбрасывается во внешнюю систему. В корпусе реакционной камеры имеются

смотровые окна со съёмными освинцованными термостойкими стеклами, через которые контролируются процессы, происходящие в реакционной зоне. В ходе экспериментов измеряется температура газопылевого потока по длине реакционной зоны с помощью квазимонохроматического пирометра “Проминь” и термопар хромель-алюмель и платинородий-платина.

В верхней части реакционной камеры расположен коаксиальный СВЧ-плазмотрон. Его внутренний провод выполнен в виде полой трубы, через которую подаются первичный воздух с угольной пылью. СВЧ-энергия и вторичный воздух подаются между внутренним и внешним проводами. В качестве СВЧ-генератора используется промышленный магнетрон непрерывного действия с номинальной мощностью 5 кВт. Энергия от генератора поступа-

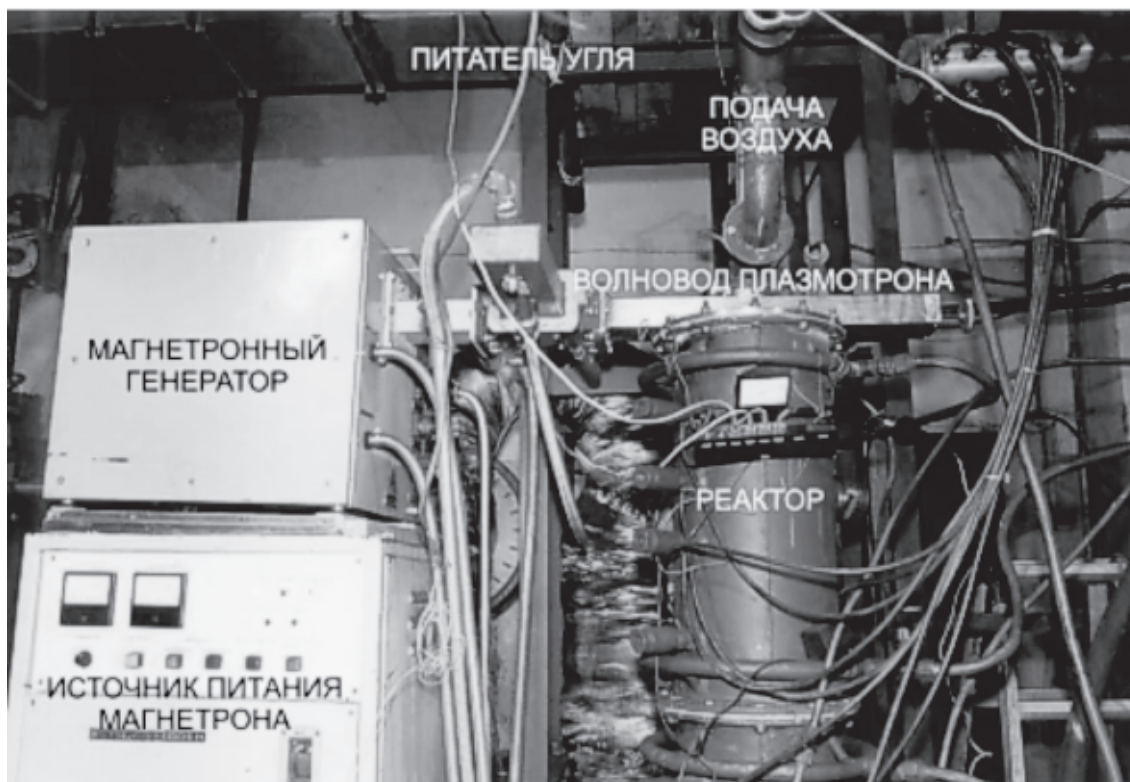


Рис. 2. Фотография экспериментального стенда с указанием основных систем

ет в плазмотрон через циркулятор и прямоугольный волновод, закороченный подвижным поршнем. Плазменный факел возбуждается при наличии в реакционной камере вблизи плазмотрона угольной пыли.

В нижней части реакционной камеры расположены системы отбора продуктов сжигания для газового анализа (используется электронный газоанализатор TESTO-350 и автоматизированный газоанализатор типа АСГА-Т), а также система отбора твердых частиц из продуктов сжигания (с последующей оценкой их состава).

Золошлаковые частицы из нижней части реакционной камеры сбрасываются в золосборник. Более тонкая очистка газов осуществляется в циклоне.

Наладочные испытания выявили ряд проблем в части обеспечения стабильной работы стенда. Наибольшая проблема состояла в проникновении плазмы из реакционной камеры в магнетрон через волноводную систему, что приводило к повреждению магнетрона. Этот

недостаток был устранен путем установки нескольких диэлектрических вставок в волноводную систему, а также обеспечением стабильной подачи вторичного воздуха, который препятствует продвижению плазменных образований в сторону магнетрона.

Другая проблема была связана с обеспечением контролируемой и стабильной подачи угольной пыли в реакционную камеру. Проблема получения относительно малых доз угольной пыли обусловлена объективными причинами, связанными с малыми проходными сечениями транспортных каналов и изменением физико-механических свойств угольной пыли при ее хранении. В процессе наладочных испытаний были опробованы разные конструкции дозаторов угольной пыли (роторные, с различными размерами ячеек, и шнековые), бункеров угольной пыли (с наклонными и вертикальными стенками при различных сечениях выходного канала) и смесителей (эжекторные и с прямым вводом). Дополнительно производился обогрев стенок бункера,

а также предварительная аэрация и подсушка угольной пыли. Испытания показали, что наибольшую стабильность подачи угольной пыли обеспечивает шнековый дозатор в сочетании с эжекторным смесителем пыли.

Возникали также некоторые проблемы с обмуровкой реактора, особенно в области, непосредственно примыкающей к выходному участку коаксиального волновода. Используемый в качестве обмуровки огнеупорный корундовый бетон, видимо, поглощал СВЧ-энергию, что приводило к появлению на его поверхности небольших разрушений в виде мелких кратеров. Характер разрушений указывал на наличие локальной концентрации СВЧ-энергии в определенных местах обмуровки. Проблема была решена путем более полного экранирования этих областей обмуровки металлом и модернизации конструкции выходного сопла плазмотрона.

### 3. Результаты экспериментальных исследований

На данном этапе работы использовался низкокачественный газовый уголь. Проводились также запуски реактора на угле типа АШ. Угольная пыль стандартного помола (характерные  $R_{90} = 25\%$  и  $R_{90} = 7\%$  соответственно для газового угля и антрацита) и влажности (1,7% и 1% соответственно) доставлялась непосредственно с действующих электростанций. Для максимального сохранения физических свойств угольная пыль подвергалась консервации. Состав исследуемого газового угля приведен в таблице 1. Теплота сгорания угля 5029 ккал/кг.

**Таблица 1.** Состав исследуемого угля

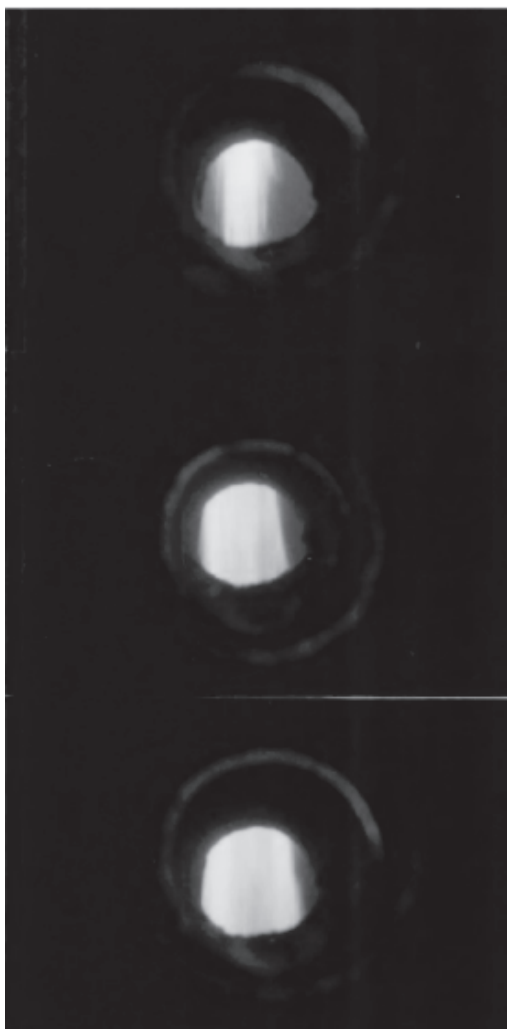
Влага, %	1,7	Азот, %	1,17
Зола, %	30,6	Кислород, %	6,23
Углерод, %	53,3	Сера, %	3,2
Водород, %	3,8		

Проведенные эксперименты показали, что угольная пыль надежно и легко загорается при любом начальном температурном состоянии пыли, воздуха и обмуровки реактора. Отрабатывались два способа зажигания пылеугольного факела, находящегося в холодном состоянии: в первом случае на срезе волновода инициировали воздушную СВЧ-плазму с последующей подачей в нее угольной пыли, а во втором, наоборот, – на поток аэросмеси накладывали СВЧ-поле. Оба способа в принципе применимы для розжига антрацитов, так как последние в реальной практике не ограничены жесткими условиями взрывобезопасности. Для розжига газовых углей предпочтителен первый способ. При иницировании плазмы этим способом возникают проблемы, связанные с недостаточной устойчивостью воздушной плазмы в отсутствие угольной пыли. По всей видимости, эти проблемы будут отсутствовать при использовании более мощных СВЧ-генераторов.

Иницирование СВЧ-плазмы при втором способе розжига в большинстве случаев происходило автоматически, хотя были отдельные пуски, когда СВЧ-плазму поджигали при помощи введенного в срез волновода металлического стержня (инициатора). При первом способе поджиг плазмы осуществлялся только при помощи инициатора.

В целом исследование работы модельной горелки проводилось в заведомо более неблагоприятных условиях, чем те, которые могут быть реализованы на промышленной горелке. В частности, температура воздуха (300 ÷ 400 К) была значительно ниже, чем в энергетических котлах (620 ÷ 670 К), а обмуровка в зоне горения угля активно охлаждалась водой, и температура обмуровки не превышала 770 К. Вследствие низкой температуры воздуха и больших потерь тепла через обмуровку процесс сжигания проводился при относительно низких температурах, а низкая температура обмуровки не способствует поддержанию процессов горения за счет радиационного теплообмена. Последнее подтверждается и тем фактом, что при выключении СВЧ-генератора происхо-

дит мгновенное прекращение горения угля. Однако даже при отмеченных неблагоприятных условиях процесс горения угля протекал устойчиво во всех исследуемых режимах, при этом воспламенение угля происходило вблизи горелки в зоне расположения плазмы. Фотографии участка плазменно-угольного факела, наблюдаемого сквозь смотровое окно, приведены на рис. 3. При увеличении расхода угля размеры факела монотонно увеличивались. Его максимальные размеры составили: примерно 10 см в диаметре, а длина более 50 см.



**Рис. 3.** Фотографии участка плазменно-угольного факела при различном расходе угольной пыли (сверху вниз): 7.2; 14; 21.24 кг/ч

В табл. 2 суммированы результаты исследований процессов сжигания газового угля в СВЧ-плазменном реакторе. СВЧ-мощность, необходимая для поджига плазменного факела, во всех приведенных в таблицах режимах составляла 3.7 кВт.

Как видно из представленных экспериментальных данных, максимальная степень конверсии угля (41 %) имеет место при большом избытке воздуха (в расчете на поданное топливо), т. е. в режиме полного горения (режим № 1). При уменьшении количества избытка воздуха до  $\alpha_{\text{н}} = 0.51$  степень конверсии снижается до 33 % (режим № 2). При этом, несмотря на столь небольшой избыток воздуха в расчете на количество поданного тепла, сохраняется режим полного горения, что объясняется малой длиной активной зоны реакционной камеры ( $L = 1.0$  м), на выходе из которой сохраняется еще достаточно окислителя ( $\alpha_{\text{т}} = 1.55$ ). Снижение степени конверсии угля в этом режиме связано с некоторой задержкой процесса воспламенения из-за увеличения расхода топлива при фиксированной мощности СВЧ-плазмы.

Дальнейшее снижение избытка воздуха до  $\alpha_{\text{н}} = 0.28$  (при  $\alpha_{\text{т}} \approx 1.0$ ) переводит режим полного горения в режим газификации угля при некотором снижении степени его конверсии (возможно, из-за увеличения расхода угля). Для этого режима характерно появление продуктов неполного горения (СО), а также горючих газов  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Из-за малой длины активной зоны реактора (времени пребывания в ней частиц угля) газовая система находится в неравновесном состоянии, что затрудняет точное воспроизводство идентичных режимов.

Анализ газового состава продуктов сгорания показал, что в первую очередь выгорают летучие вещества, и это не противоречит общепризнанному механизму горения углей. Несколько противоречив результат режима № 2, связанный с образованием  $\text{NO}_x$ , содержание которых в продуктах сгорания при данных условиях сжигания оказалось завышенным ( $504 \text{ млн}^{-1}$ ). Очевидно, что наряду с разложением топливного азота, находящегося в основном в летучих компонентах угля, плазма генерирует термические оксиды азота. Последний

**Таблица 2.** Результаты проведенных исследований

Параметры	Режимы			
	1	2	3	4
Расход угольной пыли, кг/ч	7.2	21.24	25.45	46.2
Избыток воздуха в расчете на поданное топливо ( $\alpha_{II}$ )	1.26	0.51	0.28	0.2
Температура воздуха, К	362	364	403	288
Температура частиц на выходе из реактора, К	1203	1130	1320	1170
Состав газовой фазы на выходе из реактора:				
CO, %	0.02	0.08	8.1	
H <sub>2</sub> , %	0	0	2.4	
CH <sub>4</sub> , %	0	0	1.2	
H <sub>2</sub> S, %	0	0	0.37	
NO <sub>x</sub> , млн <sup>-1</sup>	620	504	130	
SO <sub>2</sub> , млн <sup>-1</sup>	1585	1833	50	
CO <sub>2</sub> , %	4.0	6.0	9.51	
O <sub>2</sub> , %	16.9	14.9	5.3	
Степень конверсии горючих угля, %	41	33	28	
Избыток воздуха в расчете на сгоревшее топливо ( $\alpha_I$ )	3.3	1.55	1.0	
Степень конверсии серы, %	21	23	24	
Удельные энергозатраты, кВт · ч/кг	0.51	0.16	0.14	0.08
Время пребывания частиц угля в реакторе, с	0.15	0.17	0.13	0.12

процесс присущ всем плазменным технологиям. Для разложения генерируемых плазмой оксидов азота используют, как правило, восстановительный режим сжигания, что иллюстрирует режим № 3 (содержание NO<sub>x</sub> составляет 130 млн<sup>-1</sup>).

Степень конверсии серы мало зависит от режима сжигания и находится на уровне 21 ÷ 24 %. В окислительном режиме горения сера преобразуется в SO<sub>2</sub>, а в восстановительном – в H<sub>2</sub>S, что также согласуется с известным механизмом горения серы.

Результаты экспериментов свидетельствуют о существенном повышении интенсивности плазменного воспламенения и горения угля по сравнению с традиционными промышленными горелками. СВЧ-плазма инициирует раннее воспламенение холодной (<300 К) пылевоздушной смеси и интенсивное выгорание угля даже при относительно малых (порядка 0.05 с) временах взаимодействия угольных частиц с плазменным факелом. В проведенных исследованиях был достигнут удельный

расход электроэнергии на воспламенение угля из холодного состояния на уровне 0.08 кВт·ч/кг (режим 4 в табл. 2), и это не предельное значение, с учетом ограниченной производительности питателя пыли на нашем стенде. В условиях реальных промышленных горелок удельные энергозатраты будут значительно ниже из-за более высокой температуры воздуха и пылевоздушной смеси, тепловой поддержки обмуровки камеры, плазмотермической обработки угля и более совершенной аэродинамики факела. Увеличится степень конверсии угля из-за увеличения в 2 – 3 раза длины камеры обработки топлива.

Высокая эффективность СВЧ-плазменного поджига угольной пыли и большая интенсивность ее горения обусловлены, по всей видимости, специфическими особенностями СВЧ-плазмы. Такая плазма обладает очень высокой степенью неравновесности с температурой электронов, достигающей нескольких десятков тысяч градусов [8]. В силу этого может происходить снижение порога активации реа-

гирующих веществ и ускорение процесса горения угля вследствие образования активных частиц (радикалов). Для детального выяснения механизмов, ответственных за интенсификацию процессов воспламенения и горения, требуются дополнительные исследования.

#### 4. Конструкция промышленной плазменной горелки

Результаты, полученные на экспериментальном стенде, позволили разработать конструкцию промышленной плазменной горелки с сохранением большинства элементов горелок действующих котлов. Принципиальная схема предлагаемой промышленной плазменной горелки представлена на рис. 4. Она состоит из прямоугольного волновода 1, коаксиального волновода 2, центральной трубы 3, воздушного канала 4, канала розжиговой аэросмеси 5, канала основной аэросмеси 6, канала вторичного воздуха 7, воздушного регистра 8, регистра основной аэросмеси 9, огнеупорного покрытия 10.

В концептуальном плане применен принцип предварительной термохимической обработки части угля (до 30 %) в пределах го-

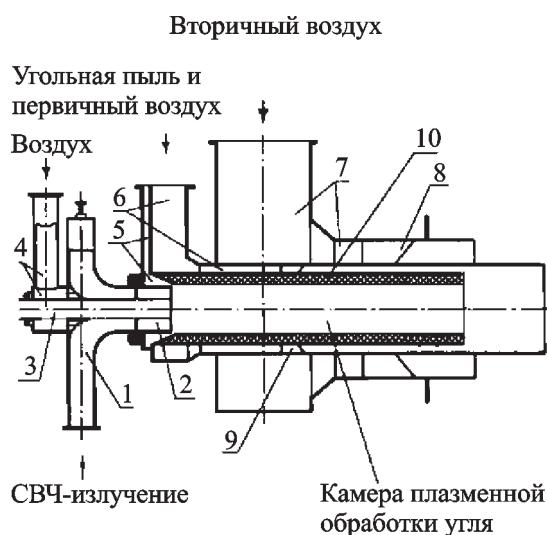


Рис. 4. Схема промышленной плазменной горелки

релки с последующим использованием его энергии для воспламенения и интенсификации горения остальной части угля на выходе из горелки. Процесс обработки угля осуществляется в плазмотермической камере, куда по каналу 5 подается уголь, а по коаксиальному волноводу 2 – СВЧ-энергия. Собственно воспламенение пыли осуществляется на некотором удалении от среза волновода 2 вследствие воздействия СВЧ-плазмы на поток пылевоздушной смеси. Режим термохимической обработки угля (полное горение или газификация) устанавливается путем изменения расхода воздуха в канале 4. Этот воздух используется и для регулирования положения плазмы с целью защиты выходного участка коаксиального волновода от разрушения. Обмуровка камеры в стационарном разогретом состоянии стабилизирует процесс обработки угля и в общем итоге снижает расход электроэнергии.

В отличие от модельной горелки, использовавшейся в экспериментальном стенде, в разработанной промышленной горелке СВЧ-энергия подводится в камеру плазмотермической обработки угля, внутрь пылевоздушного потока. Это необходимо для защиты огнеупорного покрытия от контакта с СВЧ-полем и создания более благоприятных условий для инициирования (зажигания) СВЧ-плазмы в пусковом режиме. При таком подводе СВЧ-энергии снимаются жесткие ограничения на качество огнеупорного материала, и можно использовать обычный корундовый и даже шамотный огнеупорный бетон. Поджиг плазмы при пуске может осуществляться через центральную трубу 3 вручную или при помощи устройства с дистанционным управлением.

Образовавшаяся в камере в результате плазмотермической обработки высокотемпературная ( $900 \div 1300^\circ \text{C}$ ) пылегазовая смесь перед выходом в топку постепенно смешивается с основным потоком пылевоздушной смеси и подогревает ее. Одновременно за счет воздуха основного потока идет процесс догорания горючих компонентов розжигового потока угля, что увеличивает его тепловой потенциал. На выходе из горелки термически подготовлен-



ная угольная пыль встречается со вторичным воздухом и воспламеняется. В дальнейшем процесс горения протекает по обычной схеме.

Наиболее рационально устанавливать плазменные горелки в нижнем ярусе горелок котла. Это позволит не только улучшить условия для вывода шлака, но и поддерживать работу горелок верхнего яруса, что особенно важно при растопке котла. При одноярусном расположении горелок плазменные горелки следует чередовать с обычными.

## 5. Заключение

Исследования на экспериментальном стенде, в котором воспроизведены не все условия работы промышленных горелок (тепловая поддержка соседних горелок, высокая температура воздуха, большое время пребывания угля в зоне обработки), позволяют лишь предварительно оценить эффективность СВЧ-плазменной технологии и определить область ее использования. Приведем следующие оценки. Согласно существующему регламенту растопка котлов до 30 % номинальной паровой нагрузки осуществляется на газе или мазуте, после чего в горелки подается уголь с одновременным постепенным снижением доли растопочного топлива до  $6 \div 10$  %. В целом растопка котла из холодного состояния обычно осуществляется в течение 9 ч, из них 3 ч – на газе или мазуте. Расход газа на растопку котла блока мощностью 200 МВт составляет 53000  $\text{м}^3$ , 60 % от этого количества расходуется в начальный период растопки.

Как показывают расчеты, для растопки котлов можно использовать СВЧ-плазмотроны, которые необходимо установить в 50 % горелочных устройств (в области пода топки), причем доля обрабатываемого угля в каждой из плазменных горелок не будет превышать 30 %. В этом случае даже при энергозатратах 0.08 кВт · ч на 1 кг угля общая суммарная мощность СВЧ-плазмотронов не превысит 900 кВт, что составляет 0.45 % электрической (тепловой) мощности блока.

При работе в растопочном режиме всех плазмотронов на максимальной выходной мощности 900 кВт расход электроэнергии за весь период растопки составит 8100 кВт · ч, т. е. около 5 % (с учетом КПД блока) от теплоты сгорания соответствующего расхода природного газа.

Таким образом, использование СВЧ-плазмотронов представляется экономически выгодным как за счет снижения затрат на эксплуатацию газового и мазутного хозяйства, так и за счет разности стоимостей используемых видов топлива.

Работа выполнена при частичной поддержке ЕС в рамках контракта IC15CT980509.

## Литература

1. Ю. Л. Маршак, Ю. П. Артемьев, С. Н. Миронов и др. Теплоэнергетика. 1988, №9, с. 2-10.
2. В. С. Вдовиченко, М. И. Мартынова, Н. Н. Новицкий и др. Энергетическое топливо. Справочник. Москва, Энергоатомиздат, 1991, 184 с.
3. Ю. П. Корчевой, А. Ю. Майстренко, А. К. Шидловский, С. В. Яцкевич. Экотехнологии и ресурсосбережение. 1996, №3, с. 3-8.
4. М. Ф. Жуков, Е. И. Карпенко, В. С. Перегудов и др. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела. Новосибирск, Наука, 1995, 304 с.
5. М. Ф. Жуков, Р. А. Калинин, А. А. Левицкий, Л. С. Полак. Плазмохимическая переработка угля. Москва, Наука, 1990, 200 с.
6. Э. Р. Иманкулов, В. Е. Мессерле, З. Б. Сакипов, Т. М. Сейтимов, А. Б. Устименко. Теплоэнергетика. 1990, №1, с. 51-53.
7. В. Е. Мессерле, З. Б. Сакипов. Химия твердого топлива. 1988, №4, с. 123-127.
8. С. П. Мартынюк, А. П. Моторненко. Доклады академии наук Украины. А. 1978, №2, с. 161-164.

## Microwave Plasma Technology of Pulverized Coal Combustion

**D. M. Vavriv, V. I. Kazantsev, P. M. Kanilo,  
N. I. Rasyuk, K. Schünemann,  
S. V. Grytsayenko, A. V. Tymchik**

A stand for study of microwave technology for ignition and combustion of pulverized coal is described. Results of experimental investigations obtained on this stand, aimed to study energy and thermochemical characteristics of the interaction of microwave-plasma with pulverized coal are presented. The construction of an industrial plasma burner is proposed and perspectives of practical implementation of such technology into industrial burners of boiler of power plants are discussed.