

К.Кусаиынов, А.Ж.Сатыбалдин, Г.К.Алпысова,
Н.К.Танашева, А.Ж.Тлеубергенова, А.Б.Толынбеков

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: gulnur-0909@mail.ru)*

Экспериментальный стенд для сжигания водоугольного топлива, полученного из шламов шубаркольских углей

В статье приведена технология сжигания водоугольного топлива (ВУТ), полученного из шламов шубаркульских углей. Изготовлена форсунка для впрыскивания жидкого топлива с учетом аэродинамических процессов при горении водоугольного топлива. Изготовлен мини-котел для сжигания водоугольного топлива в лабораторных условиях. Авторами проведены лабораторные исследования по сжиганию водоугольного топлива на опытной установке. Определена температурная зависимость горения ВУТ в течение времени.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная установка, шубаркольский уголь, водоугольное топливо, установка для сжигания, форсунка.

Высокий уровень техногенных воздействий на окружающую природную среду в регионах с повышенной концентрацией угольной промышленности предопределяет актуальность решения проблемы ресурсо- и природосбережения. Значимая роль при решении данной проблемы принадлежит углеобогащению, которое, управляя качеством продуктов углепроизводства, способствует повышению экологической безопасности работы предприятий угольной отрасли.

В настоящее время происходит переосмысление роли и места угля в обеспечении энергетической и экономической безопасности государства. При этом увеличение доли угля в топливном балансе страны является стабилизирующим фактором защиты от возникновения глубоких энергетических кризисов. Однако экологические проблемы, возникающие при использовании угольного топлива, требуют разработки и внедрения новых экологически чистых угольных технологий. В связи с этим является перспективным использование угля в виде суспензионного угольного топлива. Внедрение водоугольного топлива обеспечивает сбережение энергетических и материальных ресурсов, а также окружающей среды [1].

Кроме того, применение водоугольного топлива является наиболее эффективным и экологически чистым методом утилизации тонких угольных шламов угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий. Основными отличительными характеристиками водоугольного топлива являются наличие в топливе тонких угольных частиц и жидкой фазы — воды, а также повышенная относительно других жидких топлив вязкость. Указанные особенности являются решающими при выборе эффективной технологии сжигания ВУТ, которая должна обеспечивать необходимую полноту выгорания топлива и минимально возможные вредные выбросы в уходящих газах. Особенно остро данная проблема стоит при применении водоугольного топлива в котлах малой и средней мощности, в которых в настоящее время, как правило, используется низкоэффективный слоевой способ сжигания угля.

За последние десятилетия во многих странах мира проведено большое количество работ по получению водоугольного топлива и его использованию в энергетике. В России и за рубежом разработан ряд технологий по приготовлению водоугольного топлива, его транспортировке и хранению на длительный период, сжиганию водоугольного топлива. Кроме того, проведены исследования по сжиганию водоугольного топлива на действующих энергоустановках различного типа. Важно отметить, что горение частиц угля происходит до испарения воды, входящей в состав водоугольного топлива. При температуре около 1000 градусов, при которой происходит горение водоугольного топлива, вода неизбежно разлагается на ионы H^+ и OH^- . В результате разложившаяся вода выступает в роли окислителя в реакции горения водоугольного топлива. Кроме того, активация частиц угля паром приводит к интенсификации горения и снижению температуры воспламенения угля, входящего в состав ВУТ.

Общемировая тенденция к увеличению цен на углеводородные топлива подталкивает потребителей к поиску более дешевых энергоносителей и эффективных методов энергосбережения.

Карагандинская область занимает важнейшее место в минерально-сырьевом комплексе республики и является уникальной угленосной, железо-марганцевой, барит-полиметаллической, меднорудной, редкометалльной провинцией Казахстана.

АО «Шубарколь Комир» является одним из крупнейших в Казахстане производителей энергетического угля. Шубаркольское месторождение каменных углей расположено в Нуринском районе Карагандинской области Республики Казахстан, на землях бывшего совхоза «Талдысай», и занимает площадь 70 км², не имея на поверхности естественных границ. Разработка месторождения начата в 1985 г. со строительства разреза «Шубаркольский», действующего в настоящее время.

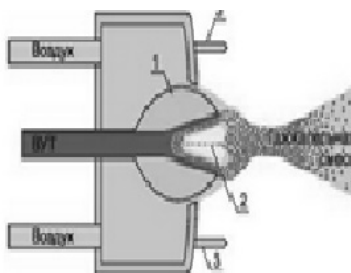
Как известно, основным элементом огнетехнического оборудования является горелочное устройство (ГУ), рабочий процесс которого определяет экономичность, надежность и экологическую безопасность объекта в целом. Комплекс аэротермохимических процессов, определяющий работу ГУ, является сложнейшим в технике, недостаточно изученным и не поддается точным расчетам. Однако потребности производства подталкивают к поиску соответствующих подходов, позволяющих уже сейчас создавать ГУ необходимой эффективности. Для этого необходимо существенно пересмотреть существующие взгляды на технологию сжигания топлива. Как правило, улучшения показателей ГУ по экономичности добиваются за счет ухудшения экологических характеристик, снижения уровня надежности, сужения диапазона рабочего регулирования и т.д.

Водоугольное топливо, хотя и состоит из угля, является жидким топливом и имеет вязкость, лишь немного превышающую вязкость мазута: примерно 800...1000 мПа·с по сравнению с 400...440 мПа·с (до 44 мм²/с) у мазута. На сегодня можно выделить следующие способы сжигания [2]:

- классическое факельное сжигание с подачей ВУТ через горелки (центробежные, форкамерные, комбинированные и др.);
- сжигание в кипящем слое (полное или частичное);
- сжигание с газификацией ВУТ (полной или частичной);
- комбинированное сжигание с другими видами топлива: углём, газом, мазутом.

Исследования основных компонентов рабочего процесса горелочного устройства, проведенные в лаборатории горения кафедры инженерной теплофизики им. проф. Ж.С.Акылбаева, выявили определяющую роль аэродинамических процессов, что позволило классифицировать типы горелочных устройств по нескольким газодинамическим схемам подачи горючего и окислителя. Причем практически все горелочные устройства ведущих фирм мира работают по схеме с закруткой потока воздуха. Из этого следует, что для создания эффективного горелочного устройства важно обеспечить устойчивую аэродинамическую структуру течения (необходимые поля скоростей и искусственной турбулентности, систему устойчивых вихреобразований, необходимую глубину проникновения струй горючего в поток окислителя и т.д.) горючего, окислителя и продуктов сгорания в широком диапазоне скоростей с необходимым концентрационным полем топливной смеси.

Важное место для сжигания водоугольного топлива занимает устройство для получения распыливания топлива — форсунка. Для распыливания водоугольного топлива используют, как правило, пневматические форсунки в силу их относительной конструктивной и эксплуатационной простоты. Форсунки должны удовлетворять ряду требований: обеспечивать надлежащий распыл топлива, создавать заданную форму капельного факела, иметь определенный диапазон возможного варьирования расхода топлива и т.д. К форсункам, используемым для сжигания ВУТ, предъявляются дополнительные требования. ВУТ представляет собой суспензию с содержанием твердой массы (угля) до 70 %. При движении такой суспензии по узким каналам нередко происходит запыление каналов. Кроме того, несмотря на достаточно высокую дисперсность частиц угля и кажущуюся пластичность суспензии, ВУТ является высокоэрозионным продуктом. Отсюда следует, что конструкции форсунок для ВУТ не должны иметь узких каналов и больших скоростей движения топлива вблизи стенок. Попытки использовать в первых работах по ВУТ в качестве распылителей известные горелочные устройства потерпели неудачу: ресурс их работы не превышал 30–40 ч. В последние годы исследователи в целях повышения ресурса форсунок в большинстве случаев идут по пути выбора износостойких материалов. Во многих литературных источниках предлагается новая оригинальная конструкция форсунки (рис. 1), в которой взаимодействие газовой и топливной струй происходит за пределами самого устройства, что значительно снижает степень разрушения его стенок.



1 — распылитель; 2 — высокоскоростная струя газа; 3 — электроды системы розжига

Рисунок 1. Форсунка для сжигания ВУТ

Выходящие из сопла струи воздуха движутся вдоль стенки распылителя, образуя сходящийся поток. В результате столкновения струй вдоль оси форсунки формируются две газовые струи — основная и возвратная. Высокоскоростная возвратная струя, внедряясь в вытекающую струю ВУТ, нарушает ее целостность и заставляет топливо тонким слоем распределяться по стенкам диффузора. На выходе из диффузора топливная струя взаимодействует с газовой, благодаря чему формируется газокпельный поток. В зоне столкновения газожидкостных струй происходит дальнейшее диспергирование и разлет капель.

В лаборатории гидродинамики и теплообмена электрогидравлическим способом измельчались фракции угля Шубаркольского месторождения. К массе измельченного угля добавлялся пластификатор, который был выбран в ходе экспериментальных исследований по подбору органических соединений, в лабораторных условиях проводились эксперименты по сжиганию водоугольного топлива.

Свойства топлива определяют схему его сжигания. Для стабилизации горения ВУТ применяется подогрев дутья и используются механизмы внутренней стабилизации горения, характерные для вихревых топков. Стабилизация горения в вихревых топках обеспечивается тем, что горячие продукты горения направляются в корень факела и этим обеспечивают его надежное воспламенение при сравнительно низкой температуре. Распыление ВУТ осуществляется центробежными форсунками специальной конструкции [3].

Для впрыскивания жидкого топлива была изготовлена стальная форсунка, ее параметры (внешний вид и схема) указаны на рисунке 2. В простых форсунках, например в газовых, — одно отверстие, а в нашем случае для хорошего впрыскивания при сжигании водоугольного топлива использована форсунка с шестью отверстиями. Диаметр отверстий равен 2 мм.

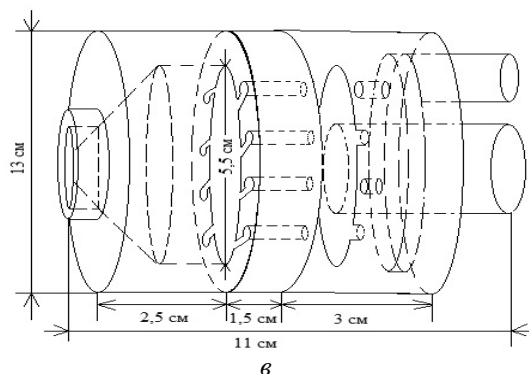
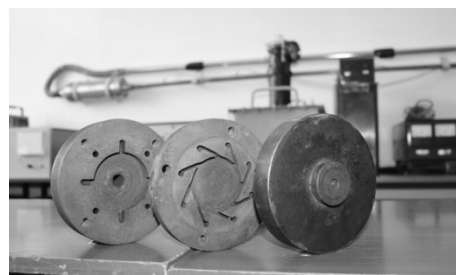
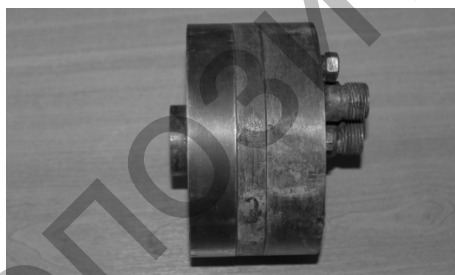


Рисунок 2. Фотоснимок (а, б) и схема (в) форсунки для сжигания водоугольного топлива

С учетом высокой эрозионности частиц твердой фазы водоугольного топлива сопла форсунок выполнены из износостойкого материала. В качестве распылителя применяется поступающий от компрессора сжатый воздух с давлением до 0,6 МПа.

При работе форсунки наблюдались характерные для вибрационного горения звуковые эффекты высокого тона, аналогичные при работе газовых форсунок. Это явление было устойчивым при загорании вихря у основания аэродинамического стабилизатора форсунки.

Аналитические и экспериментальные исследования показали, что горелочное устройство, реализующее современную технологию сжигания топлива, должно обеспечивать рациональное первоначальное распределение горючего в потоке окислителя; высокий уровень интенсивности турбулентности в области смесеобразования топливной смеси; устойчивую управляемую аэродинамическую структуру течения горючего, окислителя и продуктов сгорания с зонами обратных токов в области стабилизации факела; саморегулируемость состава топливной смеси в зоне обратных токов; самохлаждение ГУ горючим и окислителем с термической подготовкой топливной смеси. На основе сформулированных новых принципов разработана и предложена новая технология сжигания топлива, удовлетворяющая современным комплексным требованиям экологической безопасности, экономичности и надежности, предъявляемым к ГУ.

На рисунке 3 показана схема установки мини-котла для сжигания водоугольного топлива в лабораторных условиях собственной конструкции.

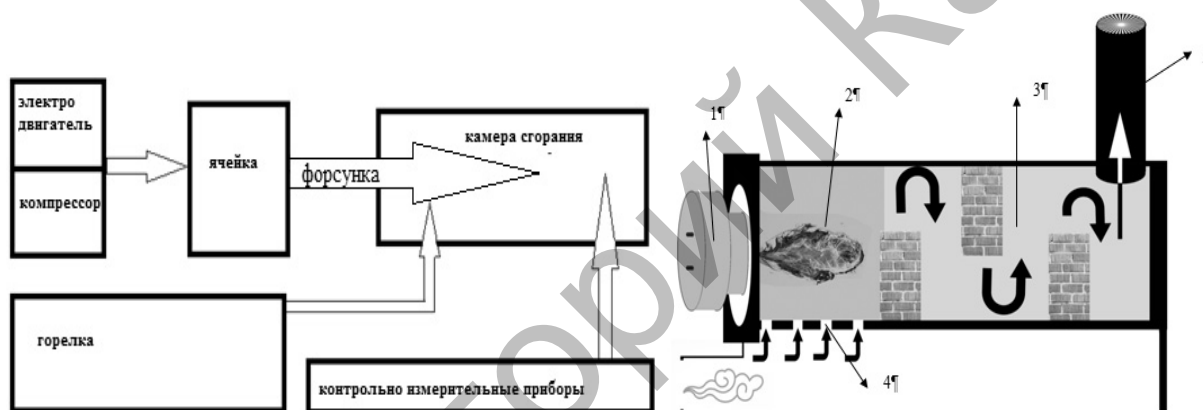


Рисунок 3. Схема внешнего вида установки мини-котла для сжигания водоугольного топлива в лабораторных условиях

Установка включала в себя основные элементы, необходимые для обеспечения процесса розжига и поддержки стабильного процесса горения водоугольной суспензии; системы хранения и регулируемой подачи ВУС, системы водо- и газоснабжения, горелочные устройства с форсункой.

Принцип работы экспериментального стенда мини-котла заключается в следующем: из емкости для хранения ВУТ в бак подается водоугольное топливо. В этот же бак из компрессора подается воздух, который создает избыточное давление в объеме бака и способствует выталкиванию топлива в топливопровод, соединенный с форсункой. В дальнейшем водоугольное топливо под давлением подается в форсунку. Туда же из компрессора под давлением подается воздух. С помощью названной форсунки в камере сгорания создается вихревая воздушно-капельная смесь, способная при определенной температуре подогрева воспламениться и устойчиво гореть (рис. 3). Температура в камере сжигания измерялась термопарой, а подача ВУТ и воздуха — манометром.

Распыление водоугольного топлива сжатым воздухом осуществляется следующим образом. В форсунке при смешивании ВУТ и распыляющего агента происходит дробление струи ВУТ за счет кинетической энергии. Учитывая полидисперсность частиц угля в ВУТ, при распылении образуются как чисто угольные частицы, с которых за счет сил гидродинамического трения срывается жидкая пленка с наиболее тонкими частицами, так и водоугольные капли, состоящие из тонких частиц угля и жидкой фазы.

Для определения эффективности горения при помощи измерительного прибора определяем температуру горения жидкого топлива. На рисунке 4 показан график зависимости изменения температуры горения топлива в течение времени.

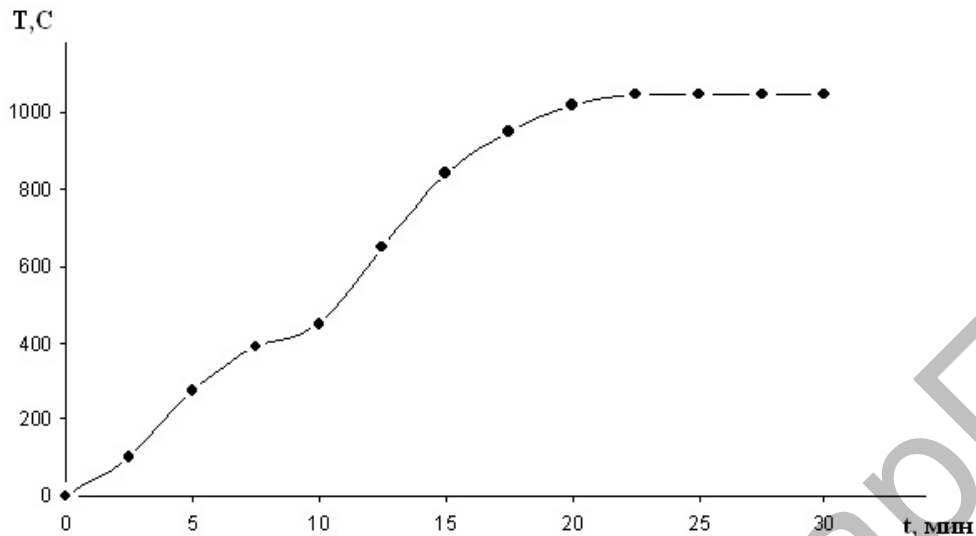


Рисунок 4. График зависимости температуры горения топлива в течение времени

Как видно из рисунка 4, начальная температура пламени 450 °С, после открытия клапана форсунки температура горения топлива повысилась до 850–950 °С. Высшая температура горения топлива достигала до 1050 °С.

Сжигание ВУС осуществлялось совместно с пылеугольным сжиганием шубаркольского угля. При температуре вторичного воздуха от 450 до 600 °С воспламенение ВУС, при массовом расходе 10 кг/ч, происходило в виде «бенгальских огней». Горение начиналось на расстоянии одного метра от среза форсунки и сопровождалось правосторонним закручиванием и перемешиванием газов с захватом частиц каменного угля. При температуре вторичного воздуха выше 600 °С горение ВУС происходило в виде мазутоподобного факела, при этом факел «подтягивался» на расстояние 0,5 м от среза форсунки и встраивался в пылеугольный поток. Определены параметры такого сжигания, которые могут служить основой для усовершенствования технологического процесса приготовления и сжигания ВУС, в том числе и из смеси углей разной степени метаморфизма. Установлено, что совместное сжигание каменного угля и ВУС в обжиговых печах цементного производства не влияет на качество спека. В завершении экспериментальных работ, перед окончанием испытаний, подача ВУС на сжигание была неравномерной, что сказалось на стабильности горения. Была разработана, смонтирована и испытана лабораторная установка по сжиганию с применением ВУТ.

На основании проделанных экспериментов можно сделать следующие выводы: разработана технология сжигания водоугольного топлива, полученного из шламов шубаркольского угля, изготовлена форсунка для впрыскивания жидкого топлива с учетом аэродинамических процессов при горении водоугольного топлива; разработана, смонтирована и испытана лабораторная установка мини-котла по сжиганию с применением ВУТ; проведены лабораторные исследования по сжиганию водоугольного топлива на опытной установке; определена температурная зависимость горения ВУТ в течение времени.

Список литературы

- 1 Папин А.В. Угольные шламы — потенциальные ресурсы Кузбасса // Финансово-экономическая самодостаточность регионов: Материалы межрегион. науч.-практ. конф. — Кемерово, 2003. — С. 258.
- 2 Сенчурова Ю.А., Мурко В.И. К вопросу о сжигании дисперсионных водоугольных суспензий // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докл. XII Всерос. науч.-техн. конф. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — С. 161–164.
- 3 Кусаинов К.К., Алтысова Г.К., Танашева Н.К., Толынбеков А. Исследование технологии сжигания ВУТ полученного из шламов шубаркульского угля // Вестн. Том. гос. ун-та. Сер. Математика и механика. — 2014. — № 381. — С. 78–82.

Қ.Құсайынов, А.Ж.Сатыбалдин, Г.К.Алпысова,
Н.Қ.Танашева, А.Ж.Тілеубергенова, А.Б.Толынбеков

Шұбаркөл көмірінің қалдықтарынан алынған сулы-көмірлі отынды жағуға арналған тәжірибелік стенд

Мақалада Шұбаркөл көмірінің қалдықтарынан алынған сулы-көмірлі отынды жағу технологиясы келтірілген. Аэродинамикалық үрдіс есебімен сулы-көмірлі отынды жағу кезіндегі сұйық отынды бұрку үшін форсунка дайындалды. Зертханалық жағдайда сулы-көмірлі отынды жағуға арналған кіші-қазандық жасалды. Тәжірибелік қондырғыда сулы-көмірлі отынды жағу бойынша зертханалық зерттеу жұмыстары келтірілген. Уақыттың өтуіне байланысты сулы-көмірлі отынның жану температурасы анықталды.

K.Kusaiynov, A.Zh.Satybaldin, G.K.Alpysova,
N.K.Tanasheva, A.Zh.Tleubergenova, A.B.Tolynbekov

Experimental setup for the combustion of coal-water slurry fuel derived from coal Shubarkol

The article describes the technology of combustion of coal-water slurry fuel derived from coal Shubarkol. Made nozzle for spraying a liquid fuel, including aerodynamic processes in combustion of coal-water fuel. Made mini boiler for coal-water fuel in laboratory conditions. Laboratory investigations on burning coal-water fuel in a pilot plant. The temperature dependence of the combustion VUT over time.

References

- 1 Papin A.V. *Financial and economic self-sufficiency of regions*: Conf. proc., Kemerovo, 2003, p. 258.
- 2 Senchurov Yu.A., Murko V.I. *Energy: ecology, reliability, safety*: Proc. of the XII All-Russian sci. conf., Tomsk Polytechnic University publ., 2006, p. 161–164.
- 3 Kusaiynov K.K., Alpysova G.K., Tanasheva N.K., Tolynbekov A. *Bull. of the Tomsk State University*, Ser. Mathematics and Mechanics, 2014, 381, p. 78–82.