

На гребне угольной волны

Л. И. МАЛЬЦЕВ

Разговоры о необходимости перевода энергетики с газового и мазутного топлива на угольное ведутся уже многие годы. Действительно, запасов угля на Земле несравнимо больше, чем нефти и газа. С другой стороны, например, в США газ стоит в пять раз дороже угля, да и в России период искусственно заниженных цен, который иногда называют «газовой паузой», подходит к концу. В ожидании окончания этой паузы в Новосибирске совместными усилиями производителей и ученых СО РАН разработан и успешно внедряется эффективный метод использования «жидкого угля».

Осенью этого года авторы разработки удостоены сразу двух наград: серебряной медали IX Московского международного салона инноваций и инвестиций и Большой золотой медали выставки СибПолитех-2009



МАЛЬЦЕВ Леонид Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Института теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 100 научных работ и 15 патентов

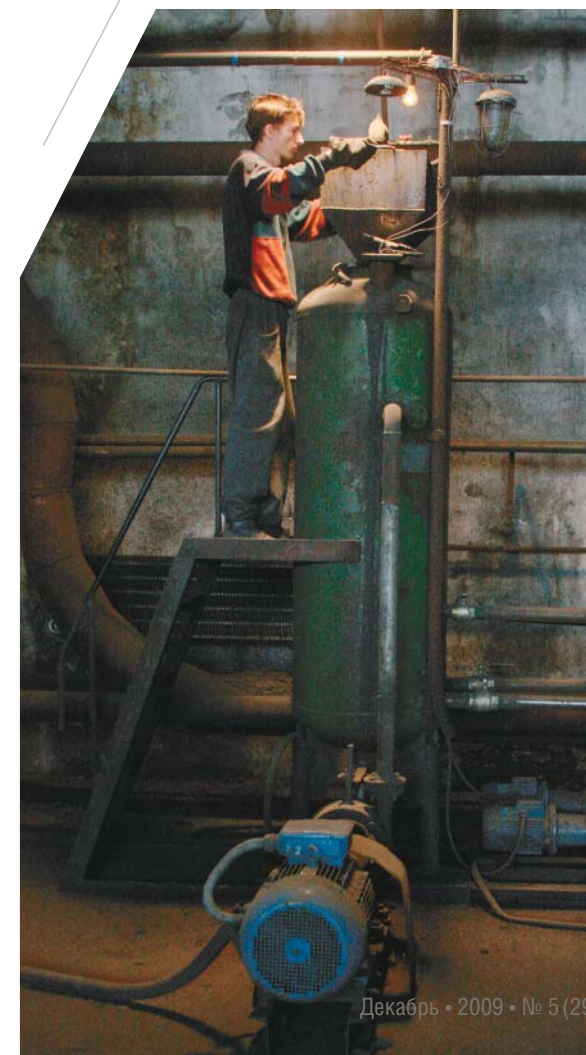
Новосибирские ученые разработали принципиально новые топочные устройства для сжигания «жидкого угля», где осуществляется низкотемпературный процесс, характеризующийся полным выгоранием топлива и пониженным выходом токсичных выбросов

Топливо бывает газообразным, жидким и твердым. Но к какой категории следует отнести так называемый «жидкий уголь», или, более точно, ВУТ – водоугольное топливо?

ВУТ представляет собой однородную суспензию из угля мелкого помола и воды в примерном соотношении 2:1, а также небольшого количества пластификатора, используемого для изменения некоторых характеристик суспензии (текучести, стабильности и т. д.). Достоинств у этого вида топлива много: оно не взрывоопасно, его можно транспортировать по трубопроводам на дальние расстояния, при этом затраты на хранение невелики. Относительно дешевое ВУТ может частично или полностью заменить дорогостоящий мазут.

Но главное, что степень выгорания газовой массы «жидкого угля» достигает 95–99%, а это чуть ли не вдвое больше, чем при обычном сжигании сухого угля. При этом КПД котлов возрастает до 80–85% по сравнению с характерными для твердого угля 40–50%. Кроме того, при сжигании ВУТ значительно снижаются вредные выбросы оксидов азота, угарного газа и частиц летучей золы.

Есть у «жидкого угля» еще одно достоинство: его можно производить из отходов обогатительных фабрик – коксующихся углей и антрацита. Например, при обогащении коксующихся углей на одной только Кемеровской обогатительной фабрике ежедневно образуется более 1000 т отходов. При производстве ВУТ экономия двойная: вы получаете дешевую энергию и при этом не тратитесь на утилизацию огромной массы отходов.



Забывтое старое

Технология сжигания угля в виде водоугольного топлива теоретически известна давно, но довести ее до практического применения оказалось очень не просто. Исследования по проблемам производства ВУТ из различных углей, его хранения, транспортировки и сжигания ведутся начиная с 60–70-х гг. прошлого столетия.

Помимо разработки теории делались попытки использования ВУТ в котлах на опытных производствах. Этим занимались как известные отечественные научные школы (среди них – Институт горючих ископаемых (Москва), ВНИИПИ «Гидротрубопровод» (Москва), Энергетический институт им. Кржижановского (Москва)), так и научные коллективы в США, Канаде, Италии.

Сегодня в мировые лидеры этого направления выдвинулся Китай, где работают три научно-исследовательских центра и шесть заводов по производству ВУТ. Поднебесная уже поставляет «жидкий уголь» танкерами в Японию.

Впрочем, китайский пример скорее исключение, чем правило: широкого тиражирования в мире технология ВУТ не получила. Но в последние годы о ней вновь заговорили. В 2007 г. в Конгрессе США прошли слушания по вопросу применения «жидкого угля» в качестве одного из базовых энергоносителей в национальной энергетической программе.



Для малой энергетики

А как обстоит дело с «жидким углем» в нашей нефтяной империи?

В СССР и России технологию ВУТ пытались внедрить на объектах большой энергетики. Так, ВУТ, произведенное из кузнецкого угля, транспортировали из г. Белово по трубопроводу длиной 262 км до новосибирской ТЭЦ-5. Вопросами получения композитного жидкого топлива из низкорекционных углей, торфа и отходов нефтепереработки занимались сотрудники НГТУ и «Новосибирскэнерго», а в НПО «Гидротрубопровод» была разработана технология экологически чистого топлива «ЭКОВУТ».

Однако испытания технологии ВУТ в большой энергетике принесли разочарование. Производство «жидкого угля» оказалось слишком сложным и затратным, при том что фракционный состав и характеристики конечного продукта были нестабильны. Ресурс работы сопел форсунок не превышал 40 ч, а недожог топлива составлял более 15%.

Но эти испытания имели и несомненный плюс: четко обозначились основные задачи, которые нужно было решить, чтобы довести технологию ВУТ «до ума».

Первая – разработка эффективного метода измельчения угля для получения высокорекционной стабильной пластичной массы с минимальным содержанием воды. Вторая – разработка эффективных конструкций топочных устройств и всего сопутствующего оборудования.

Эти задачи за последние три года удалось решить новосибирским ученым: Институт теплофизики СО РАН совместно с заводом стеновых блоков разработали и реализовали в опытно-промышленном варианте все основные компоненты технологии подготовки, хранения и сжигания ВУТ, пригодной для нужд малой энергетики.

Водоугольное топливо и воздух, необходимый для работы форсунки, а также воздух вторичного дутья подаются в топку котла по трубопроводам в автоматическом режиме.
На фото – д. т. н. Леонид Иванович Мальцев и директор завода стеновых блоков Игорь Вадимович Кравченко



Все дело в пузырьках

Для помола угля сибиряки используют самую обычную шаровую барабанную мельницу, позволяющую получать 10 т водоугольной суспензии в час с дисперсностью частиц около 100 мкм. Но это лишь начальный этап измельчения. Главная изюминка новой технологии – роторный генератор пузырьковой кавитации.

Явление кавитации (от лат. *cavitas* – пустота), т. е. образование в жидкости полостей, заполненных газом или паром, известно давно. Рой пузырьков в только что откупоренной бутылке лимонада или шампанского – это тоже кавитация.

Природная неочищенная вода, а тем более суспензия, не выдерживает растягивающих напряжений при интенсивном турбулентном движении в роторном генераторе. Поэтому в водоугольной смеси образуются парогазовые пузырьки в тех зонах, где жидкость испытывает растяжения, т. е. преимущественно вблизи твердых частиц.

При локальном повышении давления, пузырьки схлопываются, причем скорость движения стенок этого «воздушного шарика» очень велика за счет сил поверхностного натяжения. В результате в жидкости образуются ударные волны, высокие давления (до тысяч атмосфер!) и высокие температуры.

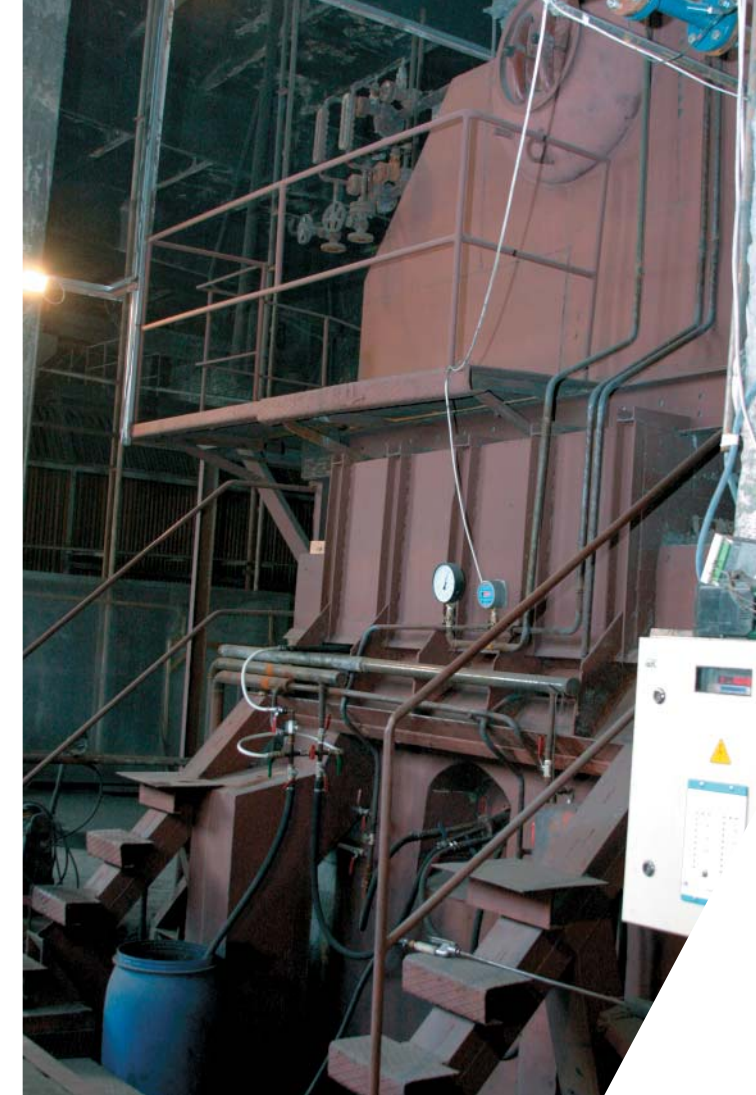
В технике подобное явление крайне нежелательно, поскольку может вызывать разрушение движущихся в воде устройств, таких как гребные винты и т. п. Но в нашем случае «зло» оборачивается во благо. Частицы угля эффективно разрушаются и измельчаются до 50–60 мкм.

Сравнение разных методов измельчения показало, что использование шаровой мельницы экономически гораздо выгоднее, зато благодаря кавитации топливо становится более реакционноспособным. Наконец, кавитация незаменима для подготовки плотных, плохо измельчаемых видов углей. Поэтому было принято решение объединить обе технологии.

Таким образом, сначала уголь измельчают на шаровой мельнице и соединяют с водой. Благодаря добавлению специально подобранных пластификаторов получают пластичное ВУТ с концентрацией угля порядка 60–70%, которое может сохранять свои свойства и не расслаиваться в течение месяца. Активируют топливо, пропуская его через роторный генератор, уже непосредственно перед сжиганием.

Воздушно-капельный вихрь

Получить «правильное» топливо важно, но не менее важно его правильно сжечь. В стандартных котлах заводского изготовления факельное сжигание «жидкого угля» практически невозможно, поскольку кипятить-

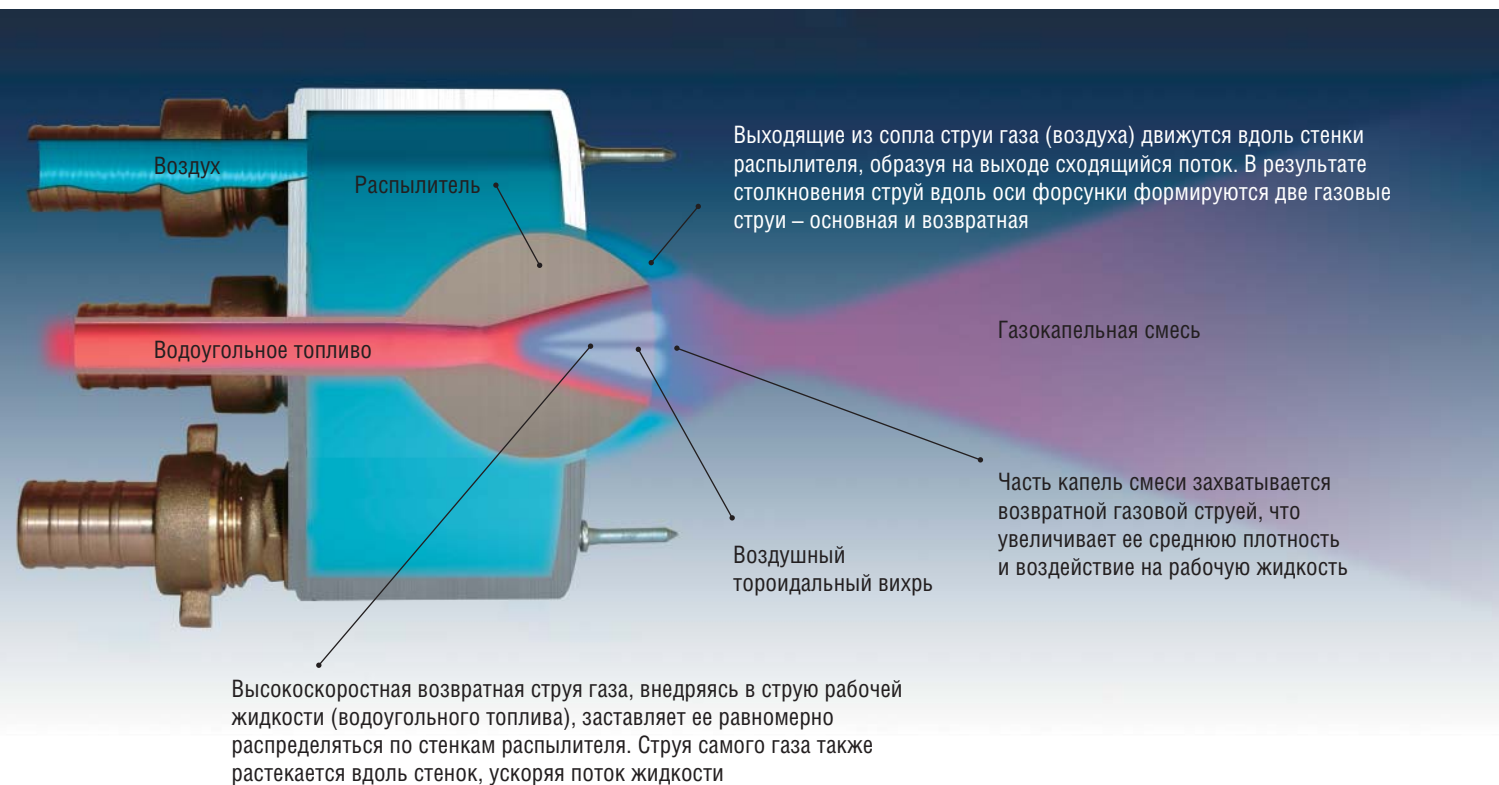


Одна из парогенерирующих установок малой мощности на водоугольном топливе, успешно работающая на заводе стеновых блоков в Новосибирске. Расход топлива и воздуха, температура и давление в топке контролируются автоматизированной системой

ные трубы размещены там непосредственно на стенках котла, которые интенсивно отбирают тепло.

Решение этой проблемы известно: топку котла выделяют в автономный теплоизолированный узел без теплообменных поверхностей. В таком узле происходит и подогрев, и сушка, и сжигание топлива, а наработанные горячие газы перебрасываются из топки в теплообменную часть котла. В результате необходимая для воспламенения топлива температура поддерживается не только за счет горения, но и за счет излучения тепла от стенок самой топки.

В патентной литературе имеется ряд топочных устройств для ВУТ. Они различаются формой камер и схемой расположения топливных форсунок (устройств для распыления жидкости) и сопел вторичного дутья воздуха. Есть и другие решения, например возврат в топку горячих дымовых газов. Такие газы способ-



Новые технологии сжигания водоугольного топлива потребовали и создания новых устройств его подачи. В пневматической форсунке Мальцева рабочая жидкость прилипает на выходе к стенкам сопла распылителя и растекается вдоль них тонкой струей. Однако этот процесс неустойчив: жидкость может вытекать сосредоточенной струей, примыкая к стенкам распылителя то в одном, то в другом месте. Для создания устойчивого потока жидкости используется высокоскоростная возвратная струя газа. В результате взаимодействия газовой и топливной струй образуется газокапельный поток. Поскольку это происходит за пределами самого устройства, форсунка не подвергается эрозии

стуют прогреву и сушке ВУТ и тем самым стабилизируют его горение, однако при этом они играют роль балласта и снижают эффективность использования топлива.

Новосибирцы разработали принципиально новые топочные устройства: оригинальная форма камеры горения. Оптимальное размещение в ней пневматических топливных форсунок и воздушных сопел позволили организовать вихревой воздушно-капельный поток. В результате факел заполняет весь объем камеры, и температурное поле в топке становится однородным, при том что максимальная температура – снижается.

Этот низкотемпературный топочный процесс характеризуется не только полной выгоранием ВУТ, но и пониженным выходом токсичных выбросов, в частности оксидов азота.

Важным звеном в технологии сжигания ВУТ является форсунка для подачи топлива. Ведь, несмотря на высокую дисперсность частиц угля и видимую пластичность суспензии, ВУТ – высокоэрозионный продукт. Попытки использовать в качестве форсунок для распыления «жидкого угля» известные горелочные устройства потерпели неудачу: ресурс их работы не превышал 30–40 ч.

Поэтому форсунку тоже пришлось изобретать заново. Благодаря оригинальной конструкции взаимодействие газовой и топливной струй происходит за пределами самого устройства, и абразивного разрушения материала не происходит.

В публикации использованы фотографии М. Роговой



Дым, который образуется при сжигании водоугольного топлива, имеет характерный белый цвет. В нем почти нет сажи – несгоревших угольных частиц. Кроме того, в нем значительно снижено содержание токсичных оксидов азота и угарного газа

Таким образом, совместными усилиями Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН и Новосибирского завода стеновых блоков уже сегодня реализованы в опытно-промышленном варианте все основные компоненты модульной технологии подготовки и сжигания водоугольного топлива.

Следует сказать, что установок малой энергетики (мелких котлов) в одной только Новосибирской области около 1.5 тыс., а по всей Сибири их число превышает 60 тыс. При этом большинство работает вполсилы (КПД 45–50%). Например, результаты обследования котельных Кузбасса показывают, что расход угля «Кузнецкий» марки «Д» составляет здесь 400–700 кг/Гкал вместо нормативных 200. Переоборудование таких котельных с внедрением ВУТ на новой научной основе может вдвое повысить их КПД, при этом будет экономиться до 30–50% топлива!

Разработка включена в качестве первоочередного проекта в программу научного и технологического развития Кемеровской области, принятую к реализации администрацией Кемеровской области и Президиумом СО РАН 3 февраля 2009 г. И это правильно: где же начинать масштабное внедрение новых технологий, как не в знаменитом угольном крае!

К слову сказать, примеру соседей последовала и администрация Новосибирской области. Будем надеяться, что это только первые шаги на пути эффективного использования угольного топлива, которым так богата наша страна.

Проверено трижды

Основной задачей для ученых стала отработка технологии подготовки и сжигания ВУТ в котельных установках малой мощности. И она была успешно решена: на заводе стеновых блоков уже работают три парогенерирующие установки мощностью 1.5, 3 и 7 МВт. Опыт сжигания на этих установках разных топлив показал, что оптимальный диапазон температур – 800–950°C. Именно в этом температурном интервале при сжигании образуется наименьшее количество загрязняющих веществ.

Первичный разогрев топки при запуске котлов производится с использованием дизельного топлива, которое подают через те же форсунки. По достижении температуры в топке 400–450°C дополнительно подается ВУТ. Затем по мере повышения температуры котел выводится на расчетный режим работы исключительно на «жидком угле».

Сейчас на сконструированных в Новосибирске установках сжигают до полутора тонн ВУТ в час, получая в результате около 10 т пара при давлении в 10 атм и температуре до 190°C.