УДК 662.983
doi 10.18101/978–5–9793–0803–6–74–78

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАЗОВОЗДУШНЫХ ГОРЕЛОК ДЛЯ СЖИГАНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА

© ***Буянтуев Сергей Лубсанович***, доктор технических наук, профессор,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: buyantuevsl@mail.ru

© ***Шишулькин Станислав Юрьевич***, кандидат технических наук,
Бурятский государственный университет
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: voin-spec@yandex.ru

© ***Алферов Анатолий Дмитриевич***, аспирант,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, г. Улан-Удэ

© ***Кондратенко Анатолий Сергеевич***, кандидат технических наук,
Бурятский государственный университет
Россия, г. Улан-Удэ

© ***Хмелев Андрей Борисович***, аспирант,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, г. Улан-Удэ
E-mail: hmelev2103@mail.ru

Внедрение синтез-газа в теплогенерирующей энергетике невозможно без разработки и модернизации основного и вспомогательного котельного оборудования. Это относится и к горелочным устройствам. Многие современные газовоздушные горелки не тестировались в режиме сжигания синтез-газа. Основным назначением таких горелок является сжигание природного газа. На эффективность газовых горелок оказывает влияние много различных факторов, такие как баланс расходов газа и воздуха, распределение воздуха по сечению и длине горелки, аэродинамические показатели котлов и др. В настоящей статье рассмотрены вопросы, касающиеся конструкции газовых горелок, которые необходимы для проектирования и создания эффективных горелок для сжигания синтез-газа, а также приведены результаты экспериментальных исследований по плазменной газификации Тугнуйского, Урейского и Баганурского углей.
Ключевые слова: синтез-газ, уголь, отопительный котел, горелка, газификатор, коэффициент полезного действия, плазма.

DESIGNING AIR-GAS TORCHES FOR COMBUSTION OF THE SYNTHESIS GAS

Sergey L. Buyantuev, Doctor of Engineering Sciences, Professor,
East Siberia State University of Technology and Management
Ulan-Ude, Russia

Stanislav Yu. Shishulkin, Candidate of Engineering Sciences,
Buryat State University
Ulan-Ude, Russia

Anatoly D. Alferov, Graduate Student,
East Siberia State University of Technology and Management
Ulan-Ude, Russia

Anatoly S. Kondratenko, Candidate of Engineering Sciences,
Buryat State University
Ulan-Ude, Russia

Andrey B. Khmelev, Graduate Student, East Siberia State University
of Technology and Management
Ulan-Ude, Russia.

The introduction of syngas in a heat generating power is impossible without the development and modernization of the main and auxiliary boilers equipment. This applies to the burner torch. Many modern gas-air torches are not tested in the combustion of syngas. The main purpose of these torches is the combustion of natural gas. The efficiency of gas burners is influenced by many different factors such as the balance of the gas and air consumption, air distribution over the cross section and length of the torch, aerodynamic performance of boiler, etc. The article examines the questions concerning the construction of gas torches, which are necessary for the design and creation of efficient torches for burning syngas, as well as the results of experimental studies of plasma gasification of the coal from Tugnuisk, Ureysk and Baganursk.
Keywords: syngas, coal, boiler, torch, gasifier, efficiency, plasma.

Сегодня все чаще поднимается вопрос о необходимости эффективного использования низкосортных теплоэнергетических ресурсов, например, таких, как бурые угли. В связи с этим в современной литературе предлагаются различные методы эффективного топливоиспользования. Один из таких методов заключается в переводе органической части угля в синтез-газ, то есть газификации с последующей его утилизацией либо в газотурбинных установках, либо в отопительных котлах.

Если процессы газификации углей с получением синтез-газа описаны достаточно подробно, то процессы сжигания такого газа в отопительных котлах малоизучены. Причин тому несколько, одна из них заключается в распространенности в качестве топлива природного газа, что и обусловило развитие газовых котлов и горелочных устройств различных типов для сжигания именно природного газа.

Основную часть природного газа составляет метан (CH_4) — от 70 до 98 % [1]. В состав природного газа могут также входить более тяжелые углеводороды — гомологи метана: этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), а также другие неуглеводородные вещества (водород, сероводород, диоксид углерода, азот, гелий).

Если говорить о составе синтез-газа, то основными компонентами являются оксид углерода (CO) и водород (H_2), составляющие в сумме от 50 до 95 % в зависимости от исходного сырья и способа газификации [2]. Поэтому нельзя с точностью утверждать, что современные газовые котлы и газовые горелочные устройства подходят для сжигания синтез-газа. Для этого необходимы дополнительные натурные исследования.

Применять синтез-газ можно в твердотопливных отопительных котлах [3] с некоторой модернизацией. Это нужно в первую очередь для повышения экологической и технологической эффективности (коэффициента полезного действия) таких котлов, и здесь нельзя обойтись без новых горелочных устройств.

Вновь разрабатываемые горелочные устройства должны обладать рядом конструктивных особенностей. Топки модернизируемых котлов ориентированы в вертикальном положении, то есть они имеют небольшую длину и ширину. При установке обыкновенных газовоздушных горелок, применяемых в газовых котлах, происходит перегрев задней стенки котла и экранных труб, расположенных на этой стенке (если такие имеются). Также ядро газового факела за счет аэродинамики самой топки смещается вверх, что также отрицательно влияет на тепловосприятие экранных поверхностей в плане равномерности тепловой нагрузки и, как следствие, их различной температуры, что приводит к неравномерным тепловым расширениям экранов. Поэтому горелки для сжигания синтез-газа должны быть короткофакельными с равномерным распределением по всей топке ядра факела. Это может быть достигнуто за счет применения нескольких сопел, расположенных в зависимости от геометрии топки. На малых котлах возможно применение инжекционных горелок с забором воздуха из помещения котельной, на более мощных котлах — газовоздушных горелок с принудительным дутьем воздуха. Применение второго типа горелок позволяет более точно регулировать форму и степень черноты факела.

На практике короткого и широкого факела при сжигании газа можно добиться с помощью разбивки газового потока на несколько частей и организации в рамках одного потока с помощью лепестковых завихрителей обжимающих потоков. Данные закрученные струи воздуха хорошо разбивают вводимую в центр факела газовую струю и перемешиваются с ней. При больших расходах газа необходимо вводить и больше воздуха, поэтому дополнительно в воздушные потоки, создаваемые завихрителем, по трубкам вводится синтез-газ для лучшего смесеобразования. Иногда для придания воздушным потокам тангенциального направления к оси факела непосредственно перед завихрителями устанавливают завихрительные лопатки.

Смесители для газовоздушных горелок, предназначенных для сжигания синтез-газа, могут быть выполнены как из металлических сплавов, так и из керамики. В упрощенном виде газовоздушные горелки представляют собой трубу, внутри которой устанавливаются патрубок ввода синтез-газа, завихри-

тель или завихрительные лопатки, системы контроля пламени (ионизационный электрод), электрод зажигания.

Использование синтез-газа взамен угля позволяет вести более гибкое управление процессами горения за счет расширения возможностей регулировки температуры в реакционной зоне, геометрических размеров факела, скорости горения, а также дает возможность регулировать химический состав газовой среды и быстро проводить коррекцию режимов работы котла в зависимости от параметров отходящих газов. Так как на выходе из горелки получается сформированный высокотемпературный факел, мы имеем возможность повысить интенсивность процесса горения синтез-газа и, как следствие, улучшить процессы теплообмена в самой топке в отличие от слоевого сжигания угля, где данные процессы растянуты во времени. Проблема невозможности выхода котлов на паспортные характеристики известна давно. Особенно это значимо для паровых котлов. Причин тому несколько, а именно: несоответствие топлива, сжигаемого в котле, проектному, несоответствие сжигаемого топлива по фракционному составу, износ основного котельного оборудования, низкая квалификация обслуживающего персонала.

В качестве топлива для горелки мы предлагаем использовать синтез-газ (генераторный газ), полученный при газификации угля, в том числе и плазменной обработке угля. При сжигании синтез-газа на воздухе без специальных горелочных и смешивающих с воздухом устройств, то есть при простом истечении синтез-газа из отверстия вводной трубы диаметром от 3 до 8 мм, наблюдается бледно-синий факел иногда с оранжево-желтыми прожилками. Цвет факела горящего синтез-газа «на воздухе» зависит от его состава. Так, в основном пламя бледно-голубого цвета синтез-газ имеет при большом содержании водорода. При увеличении в синтез-газе окиси углерода (CO) начинают появляться песочно-желтые и желто-оранжевые прожилки. При низкой концентрации водорода H_2 пламя по внешнему периметру и особенно на конце приобретает желто-оранжевый цвет.

Состав синтез-газа, полученного в плазменном одноступенчатом газификаторе [4; 5; 6], представлен в таблице 1 [7].

Таблица 1

Результаты экспериментов по получению генераторного газа в газификаторе «BSP-1»

№ п/п	Наименование угля	Результаты экспериментов				
		CO_2, %	O_2, %	CO, %	H_2, %	Q, ккал/нм^3
1	Тугнуйский	1,8	1,5	35,5	43,3	2215,85
2	Баганурский	8,2	1,9	20,75	44,25	1767,4
3	Урейский	2,1	1,4	32,7	42,3	2112,0

При сжигании синтез-газа в горелках со специальными насадками как инжекционного типа, так и с принудительным воздушным дутьем цвет факела смещается в сторону бледно-голубого цвета даже при наличии больших концентраций окиси углерода.

По предварительным оценкам, при разрушении газовой струи и ее смешении с воздушным потоком последний должен вводиться под более тупым углом к оси факела по касательной и с большей закруткой. Обусловлено это разнородностью и плотностью синтез-газа, которая составляет 0,71 кг/м^3 при нормальных условиях.

Если говорить о возможности сжигания синтез-газа в газовоздушных горелках, то этот процесс возможен. Практически все нормы, применяемые при сжигании к природному газу, могут быть применены и к синтез-газу. Отличие будет заключаться лишь в режимах сжигания (расходах окислителей и газа) и форме газового факела, обусловленной особенностями водогрейных и паровых котлов малой мощности.

Литература

1. Википедия: сайт [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/
2. Шишулькин С. Ю. Плазменно-термическая подготовка твердых топлив к сжиганию на основе модульной двухступенчатой установки: дис. … канд. техн. наук / Восточно-Сибирский государственный технологический университет. Улан-Удэ, 2009. 194 с.
3. Буянтуев С. Л., Шишулькин С. Ю. Перспективы и проблемы использования газогенераторов угля для выработки тепловой энергии // Вестник ВСГУТУ. 2014. № 6. С. 28–32.
4. Буянтуев С. Л., Цыдыпов Д. Б., Доржиев А. Ц., Елисафенко А. Е., Беспрозванных М. Н. Двухступенчатый способ термической подготовки пылевидного топлива и установка для его осуществления. Патент РФ № 2171431, от 27 июля 2001 г.
5. Буянтуев С. Л., Шишулькин С. Ю. Двухступенчатый способ термической подготовки кускового топлива к сжиганию и установка для его осуществления. Патент РФ № 2366861 от 10 сентября 2009 г.
6. Буянтуев С. Л., Шишулькин С. Ю., Шаронов К. С. Вопросы оптимизации теплофизических параметров плазменного газификатора углей // Вестник Бурятского государственного университета. 2009. № 3. С. 146–153.
7. Экономическая оценка перевода твердотопливного отопительного котла на сжигание генераторного газа / С. Л. Буянтуев [и др.] // Вестник Бурятского государственного университета. 2015. № 3. С. 144–148.