

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.2 - С.339-342

## **РАЗРАБОТКА ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЖАГИНЯ БИОГАЗОВ НА ОСНОВЕ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА**

*Достияров А.М.*

*профессором кафедры Тепловые электрические станции  
Алматинского университета энергетики и связи имени Г. Даукеева (г.  
Алматы)*

*Ануарбеков М. А.*

*Докторант 1 курса кафедры теплоэнергетики, Энергетического  
факультета,  
Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина*

Программа газификации регионов Казахстана является актуальной и социально значимой задачей для страны. При этом многие сельские местности в стране расположены в отдаленных местах от источников энергоносителей. Энергоснабжение сельских местностей и индивидуальных аграрных хозяйств экономический выгодно решить засчет дифференциального подхода с использованием альтернативных источников энергии. Одним из перспективных направлений энергоснабжения отдаленных сельских местностей является использование биогазового топлива, так как в этих хозяйствах имеется биомасса в качестве сырья для производства биогаза.

Биогазовое топливо состоит в основном из метана (50-65%) и диоксида углерода (20-40%), а также содержит следы азота, водорода, серы и кислорода в зависимости от методов производства или газификации [1]. Поскольку биогаза содержится большое количество балласта в виде  $CO_2$ , это топливо относится к классу низкокалорийных.

Традиционные горелочные устройства не подходят для сжигания биогазов. Это связано с тем, что биогазовое топливо имеют низкую теплотворную способность, небольшую адиабатную температуру горения и объемный расход газа соизмеримый с расходом воздуха.

В работе [2] проведены экспериментальные исследования по сжиганию биогазового топлива различного состава в традиционных горелках природного газа. Анализ компонентов состава продуктов сгорания показали низкую эффективность сжигания биогазов в традиционных горелках для природного газа.

Горелочные устройства по сжиганию низкокалорийных газов приводится в работе [3]. В данной работе приведены три конструкции

горелок: трубчатая, инжекционная и с частичным перемешиванием. Данные устройства предназначены для сжигания топлив с преобладанием СО в составе и не адаптированы к биогазам. А также из-за концентрированного сжигания они не обеспечивают низкоэмиссионное горение. Существует также риск проскока и срыва пламени.

Пористые горелки для сжигания биогазов исследовались авторами [4]. Сжигание биогазов в пористых горелках показали хорошие эмиссионные характеристики горения, а также устойчивость пламени. Но недостатком данных горелок является в том, что имеют короткий срок службы и высокие требования к изготавливаемым материалам.

К изучению беспламенного сжигания биогаза посвящены работы [5]. Эксперименты по беспламенному сжиганию биогаза показали низкий уровень NOx, но при этом высокие значения СО. беспламенное горение обладает рядом недостатков, такие как узкий диапазон работы, опасность срыва пламени, необходимость выполнения камеры сгорания из жаропрочного материала. А также беспламенная технология находится на стадии исследования, отсутствует готовых устройств эксплуатируемых в условиях промышленности даже на природном газе.

Анализ устройств и технологии по сжиганию биогазов показывает, что отсутствуют специальных и эффективных горелочных устройств по сжиганию биогазов. А дорогостоящий процесс очистки и повышения качества биогаза являются наиболее важными препятствиями на пути развития использования биогаза в качестве топлива. Поэтому есть необходимость создания топливо сжигающее устройство, которое обеспечит эффективное, устойчивое и экологичное горение низкокалорийного биогазового топлива.

При этом горелки для сжигания биогаза должны обеспечивать следующие требования:

- высокую полноту сгорания топлива;
- низкий уровень эмиссий NOx и СО;
- отсутствие проскока и срыва пламени;
- широкий диапазон устойчивой работы;
- термическую однородность пламени и др.

Биогазовое топливо имеет низкий стехиометрический коэффициент по сравнению с природным газом. Поэтому на эффективное горение биогаза будет сильно влиять скорость перемешивание топлива с окислителем. Интенсивное перемешивание ТВС можно добиться с использованием закрученного потока. Организация сжигания биогаза с предварительным перемешиванием на основе закрученного потока может обеспечить сверхнизкие уровни NOx.

Особенностью пламени биогазов является в том, что они имеют узкий диапазон устойчивого горения и склонность к срыву пламени, это прежде всего связано низкой реакционной способностью биогаза. Поэтому топливосжигающие устройства для биогазов на выходе горелки должны создавать аэродинамику факела обеспечивающий рециркуляцию газов для

поддержания пламени. При этом необходимо исключить локальные высокотемпературные зоны пламени.

Вышесказанные эффекты можно реализовать путем сжигания биогазов в микромодульной горелке с предварительным перемешиванием ТВС в сужающе-расширяющем канале с входным завихрителем и на выходе имеющем уголкового стабилизаторы с симметричными рукавами на стенках для дополнительного воздуха. А также для спрямления потока внутри горелки в расширяющейся части, установлены осесимметричные усеченные конусы и распределительный конус (Рис.1).

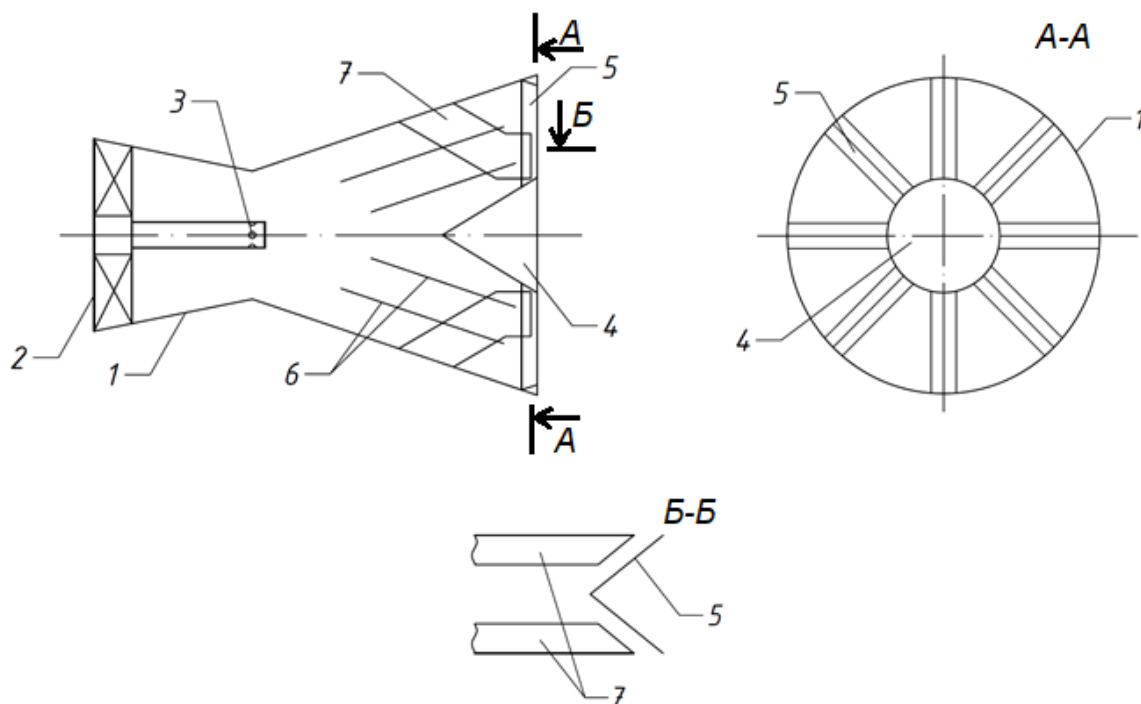


Рисунок 1 – Микромодульная горелка для сжигания биогаза.

Микрофакельная горелка для сжигания биогазов состоит из сужающе-расширяющегося корпуса 1 на входе, которого установлен завихритель воздуха 2, а на выходе – по оси горелки имеется распределительный конус 4 соединенный с корпусом 1 с восьмью уголковыми стабилизаторами 5. На стенки стабилизатора 5 на  $\frac{1}{2}$  высоте от конуса установлены симметрично рукава 7 для подвода воздуха. Топливо подается по трубе 3 из восьми отверстий в горле горелки по нормали к стенке корпуса 1.

Для спрямления потока в расширяющейся части горелки установлены осесимметричные усеченные конусы 6 из листовой стали. Угол раскрытия осесимметричных усеченных конусов 6 совпадает с углом раскрытия расширяющейся части корпуса горелки, а угол раскрытия распределительного конуса 4 составляет относительно оси горелки от 30 до 45°. Входной завихритель 2 имеет количество лопаток от 4 до 8 с углом установки лопаток  $\beta$  относительно оси горелки от 30 до 45°.

Горелка работает следующим образом. Воздух для подготовки обедненного ТВС поступает закрученным потоком в горелку через входной завихритель 2. Затем поток воздуха ускоряется в сужающемся канале и в горле горелки перемешивается с топливом поступающим через трубки 3. Далее топливоздушная смесь движется по расширяющейся части канала горелки, в которой осесимметричные усеченные конусы 6 спрямляют поток ТВС, распределяя его равномерно по сечению канала горелки, тем самым, устраняя концентрирование ТВС на его перифериях. Расширяющаяся часть канала горелки выполнена для снижения скорости движения ТВС, чтобы уменьшить риски срыва пламени. Также такая форма канала за счет торможения потока дополнительно интенсифицирует перемешивание ТВС.

Топливоздушная смесь выходит из горелки, обтекая уголкового стабилизатора 5, и перемешиваясь с дополнительным воздухом, поступающим через симметричные рукава 7, установленные на спинках стабилизаторов. Воздух из симметричных рукавов на спинки уголкового стабилизатора поступает за счет инжекции, которая создает ТВС, обтекая стабилизаторы. На выходе горелки ТВС горит за счет перемешивания с дополнительным воздухом.

Уголкового стабилизаторы на выходе горелки обеспечивают микрофакельное сжигание, которое дает низкоэмиссионное горение за счет отсутствия локальных высокотемпературных зон. Из-за того, что биогазовые топлива имеют сравнительно небольшую адиабатическую температуру горения, они подвержены срывам пламени при сжигании. Уголкового стабилизаторы создают множество обратных потоков пламени, которые поджигают свежие порции ТВС. Тем самым они повышают устойчивость горения низкокалорийных топлив.

При работе горелки в пониженных нагрузках расход топлива уменьшается, соответственно, скорость ТВС на выходе горелки тоже снижается. Снижение скорости ТВС на спинках стабилизаторов уменьшает инжекцию дополнительного воздуха через рукава 7, что создает газодинамическую само регуляцию горения топлива на выходе горелки. Распределительный конус 4 снижает гидравлическое сопротивление выходного сечения горелки, как следствие устраняет проскок пламени.

Таким образом, такая конструкция горелки обеспечивает низкоэмиссионное и устойчивое сжигание биогазового топлива.

Оптимальная конструкция микромодульной горелки для сжигания биогазов зависит от угла поворота завихрителя воздуха и угла раскрытия уголкового стабилизаторов. Влияние названных параметров на процесс горения биогазового топлива в горелке планируется исследовать численным методом в программном пакете Ansys Fluent.

При численном моделировании микромодульной горелки для биогаза будут решаться следующие уравнения:

- уравнение неразрывности;
- уравнение сохранения импульса;
- уравнение энергии.

Для замыкания уравнения Навье-Стокса осредненного по Рейнольдсу будет использоваться модель турбулентности  $k-\omega$  SST, так как данная модель хорошо описывает как пристеночные, так и объемные турбулентные потоки. А в конструкции горелки, где имеются сужающе-расширяющий канал, осесимметричные усеченные конусы, распределительный конус и уголковые стабилизаторы преобладает зоны обтекания поток воздуха и топлива через стенки. Данное явление влияет на структуру потока, поэтому при моделировании будет учитываться пристеночная функция.

Для взаимосвязи турбулентности и химии будет использоваться модель горения Non-premixed combustion. Образование оксидов азота будет определяться с помощью термического и быстрого механизма, а концентрация O и OH для данных механизмов будет учитываться на основе реакции частичного равновесия, так как данная реакция более близка к экспериментальным условиям.

Численное моделирование горелки поможет определить оптимальную конструкцию и сократит количество дорогостоящих экспериментальных опытов.

#### **Список использованных источников**

1. M. Balat, H. Balat Biogas as a renewable energy source - a review // Energy Sources, Part A Recovery, Util. Environ. Eff., 2009(14) №31, P. 1280-1293.
2. Ilbas M., Sahin M., Karyeyen S. Combustion Behaviours of Different Biogases in an Existing Conventional Natural Gas Burner: An Experimental Study // International Journal of Renewable Energy Research. 2016 Vol.6 №.3. P. 1178-1188.
3. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. – М.: «Энергия», 1976, 484 с.
4. Keramiotis C., Founti, M. A. An experimental investigation of stability and operation of a biogas fueled porous burner // Fuel. 2013 №103. P 278–284.
5. Hosseini S.E., Wahid M.A. Biogas utilization: experimental investigation on biogas flameless combustion in lab-scale furnace // Energy Convers Manag. 2013 №74. P.426-432.