

УДК 662.767.2:662.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БИОГАЗА НА СВОЙСТВА ФАКЕЛА

Магистрант **Леонов Е.С.**Д-р техн. наук, доц. **Трубаев П.А.***Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

Аннотация. Целью работы являлось исследование зависимости длины факела от состава биогаза с целью анализа, необходима ли реконструкция топков котлов и печей, работающих на природном газе, при их переводе на биогаз, или возможно использование существующих агрегатов. Использовались аналитическая одномерная модель диффузионного прямого факела в неограниченном и ограниченном пространстве и численная трехмерная модель турбулентного факела в закрученном потоке воздуха. Определялась длина факела при содержании метана в биогазе от 20 до 100%. Сделан вывод, что при изменении содержания метана в биогазе возможно поддержание стабильного режима работы теплотехнической установки при условии регулирования расхода биогаза для обеспечения постоянного выделения теплоты при его сгорании и обеспечение турбулентного факела с закрученным потоком воздуха. Сжигание при этом может проводиться с использованием одной и той же горелки и без изменения размеров топки.

Ключевые слова: биогаз, длина факела, горение.

Введение

Биогаз – это газ, образующийся при анаэробном сбраживании органического вещества. Он образуется естественным путем из твердых коммунальных отходов (такой газ называют свалочным), коммунальных сточных вод, отходов и сточных вод сельскохозяйственных производств, навоза животных. Состав биогаза сильно зависит от характеристик усваиваемого субстрата и условий образования. В общем случае биогаз содержит около 60% метана CH_4 , 20% углекислого газа CO_2 , 20% азота N_2 , небольшое количество кислорода O_2 , сероводорода H_2S , водорода H_2 , иных органических веществ. Наличие метана в биогазе позволяет его использовать в качестве топлива для производства тепловой и электрической энергии [1].



Биогаз не может быть использован в горелках в качестве прямой замены природного газа, так как у него иное соотношение расходов воздуха и газа, так же горение не является достаточно стабильным из-за высокого содержания в биогазе CO_2 . Таким образом, для биогаза должна быть установлена новая горелка с отдельной контрольно-измерительной системой.

В работе [2] было проведено исследование горения биогаза, в основном беспламенного в смоделированной камере сгорания и показана объемная зависимость обычного сжигания биогаза и CH_4 (рис. 1). В работе [3] выполнено моделирование горения газа при различном содержании CO_2 (рис. 2). Как видно из рис., температура горения при повышении содержания CO_2 уменьшается. Но в проведенных исследованиях расход биогаза был равен расходу природного газа, следовательно, уменьшалось количество выделяемой теплоты. Целесообразно исследования проводить при постоянной тепловой мощности агрегата, то есть при снижении теплоты сгорания увеличив его расход топлива.

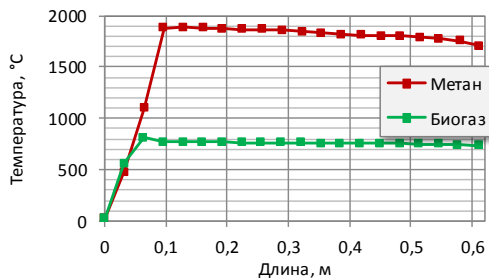


Рис. 1. Изменение температуры на центральной линии печи при сжигании метана и биогаза [2]

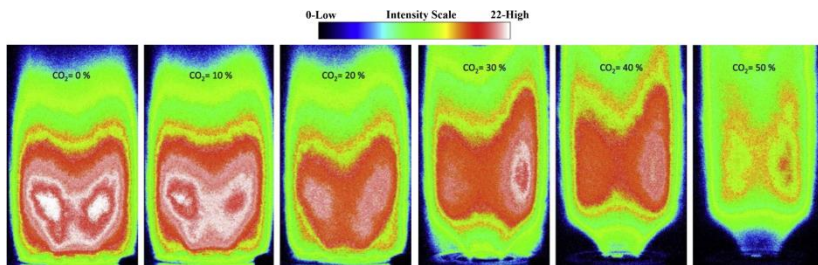


Рис. 2. Температура горения биогаза при разном содержании CO_2 [3]

В работе [4] исследовано влияние степени закрутки воздуха на длину и форму диффузионного факела. Установлено, что короткий диффузионный факел, закрученный направляющими лопатками под углом 45° , обеспечивает требуемую интенсивность горения. В работе [5] при моделировании сжигания биогаза различного состава было установлено, что механические рассекатели пламени позволяют повысить тепловую мощность горелки, причем для каждой концентрации метана длина рассекателя должна быть подобрана индивидуально.

Таким образом сжигание биогаза вместо природного газа допустимо, но необходимо выбирать режим горения в зависимости от состава биогаза.

Целью работы являлось исследование зависимости длины факела от состава биогаза с целью анализа, необходима ли реконструкция топок котлов и печей, работающих на природном газе, при их переводе на биогаз, или возможно использование существующих агрегатов.

Методы исследования

Использовались три математические модели сгорания газообразного топлива при его отдельной подаче с воздухом, приведенные в работе [6]:

- 1) прямоточный диффузионный факел в неограниченном пространстве (одномерная аналитическая модель);
- 2) прямоточный диффузионный факел в ограниченном цилиндрическом пространстве (одномерная аналитическая модель);
- 3) турбулентный факел в закрученном потоке воздуха (трехмерная модель).

Основными компонентами биогаза являются метан, азот и углекислый газ. Состав свалочного газа характеризуется неравномерностью состава [7], поэтому исследовалась длина факела при содержании метана в биогазе от 20 до 100%.

При моделировании рассматривались три варианта:

а) сжигание газа переменного состава с одинаковым объемным расходом газа, подаваемого в горелку;

б) сжигание при постоянной теплопроизводительности (теплоты, выделяемой при сгорании топлива) с использованием одной и той же горелки, при этом при уменьшении содержания метана в газе увеличивался расход топлива и скорость его вылета из горелки;

в) сжигание при постоянной теплопроизводительности с изменением диаметра горелки при увеличении расхода газа для обеспечения постоянной скорости газа.



Результаты моделирования

Результаты расчета длины факела при изменении концентрации метана в биогазе представлены на рис. 3. При снижении концентрации метана во всех случаях длина факела уменьшается.

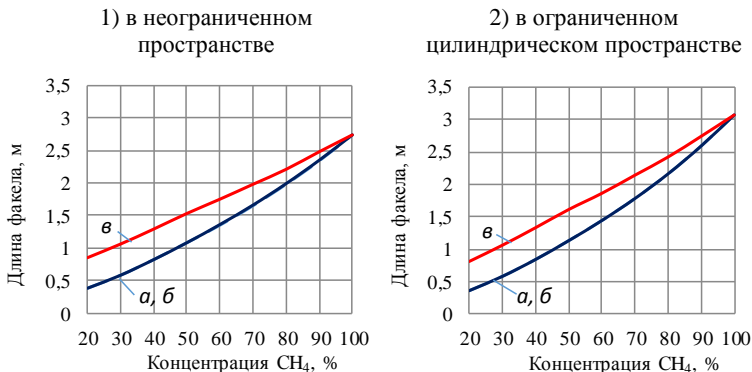


Рис. 3. Длина прямооточного диффузионного факела (одномерная модель) при различной концентрации метана в биогазе:

а) постоянный расход; б) постоянная мощность и диаметр горелки, изменяется скорость; в) постоянная мощность и скорость, изменяется диаметр горелки

Для турбулентный факел в закрученном потоке воздуха наблюдается повышение длины факела в два раза при снижении концентрации метана до 70-80% (рис. 4). Для биогаза обычного состава (60% метана) длина факела в 1,4 раза выше, чем при сгорании природного газа. Это можно объяснить худшим смешением топлива с воздухом из-за наличия в газе негорючих примесей.

На рис. 5 приведены результаты моделирования для топлива с разной концентрацией метана и углом закрутки воздушного потока. Для газа с содержанием метана 60% наблюдается иная зависимость, чем для природного газа – максимальная длина факела при угле закрутки 45%. Таким образом изменяя условия сжигания можно обеспечить факел необходимого размера.

Выводы

Можно сделать вывод, что при изменении содержания метана в биогазе возможно поддержание стабильного режима работы теплотехнической установки при условии регулирования расхода биогаза для обеспечения постоянного выделения теплоты при его сгорании и обеспечение турбулентного факела с закрученным потоком воздуха.

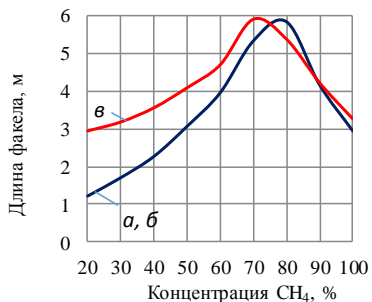


Рис. 4. Длина турбулентного факела в закрученном потоке воздуха при различной концентрации метана в биогазе (угол закрутки 45°):
 а) постоянный расход; б) постоянная мощность и диаметр горелки, изменяется скорость; в) постоянная мощность и скорость, изменяется диаметр горелки

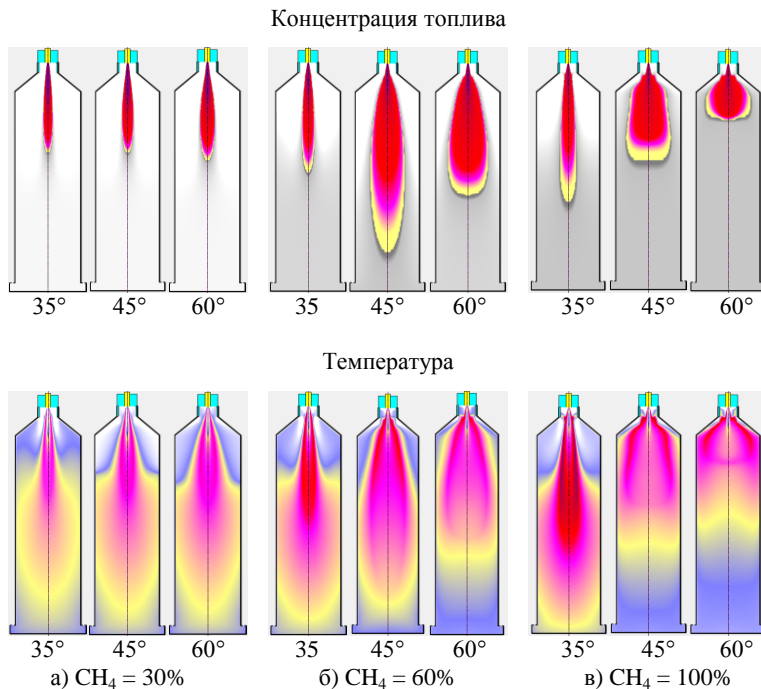


Рис. 5. Поля концентраций и температуры при различном угле закрутки

Сжигание биогаза может проводиться с использованием одной и той же горелки и без изменения размеров топки.

Статья подготовлена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

Библиографический список

1. **Vajpai P.** Biomass to Energy Conversion Technologies. Amsterdam: Elsevier, 2020. 246 p.

2. **Hosseini S.E., Bagheri G., Wahid M.A.** Numerical investigation of biogas flameless combustion // Energy Convers. Manag. Pergamon. 2014. Vol. 81. P. 41-50. DOI: [10.1016/j.enconman.2014.02.006](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.006).

3. **Mordaunt C.J., Pierce W.C.** Design and preliminary results of an atmospheric-pressure model gas turbine combustor utilizing varying CO₂ doping concentration in CH₄ to emulate biogas combustion // Fuel. 2014. Vol. 124. P. 258-68. DOI: [10.1016/j.fuel.2014.01.097](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.097).

4. **Альмохаммед О.А., Кузнецов В.А.** Численное исследование закономерностей горения природного газа в вертикальной топке // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 163-167. [eLIBRARY ID: [18802944](#)]

5. **Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С.** Моделирование сжигания биогаза в инжекционной горелке с тепловым рассекателем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 40-47. [eLIBRARY ID: [42788142](#)]

6. **Кузнецов В.А., Трубаев П.А.** Математические модели тепломассопереноса в высокотемпературных установках: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 272 с. [eLIBRARY ID: [35300593](#)]

7. Investigation of Landfill Gas Output from Municipal Solid Waste at the Polygon / P.A. Trubaev, O.V. Verevkin, B.M. Grishko et al // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 1066. P. 012015. DOI: [10.1088/1742-6596/1066/1/012015](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1066/1/012015). [eLIBRARY ID: [38619254](#)]



ANALYSIS OF BIOGAS COMPOSITION INFLUENCE ON THE FLAME CHARACTERISTIC

E.S. Leonov and P.A. Trubaev

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Abstract. The goal of this paper was the study flame lengths dependence on biogas composition to decide if the boiler`s furnaces using natural gas need reconstruction for biogas usage or it is possible to use the already existing equipment. The analytical one-dimensional model of a diffusion straight-flow flame in unrestricted and restricted space and the numerical three-dimensional model of a turbulent flame in a swirled airflow have been applied in this research. The research has analyzed the flame length for methane content of 20 to 100% in biogas. It has been concluded that by changing the methane content in biogas the heating plants operating mode can be stable on the condition that the biogas flow rate is controlled to ensure constant heat production during its combustion and turbulent flame with a swirled airflow. Combustion, in this case, can be done by using the same burner and without changing the size of the furnace.

Keywords: biogas, flame length, combustion.

