

Экспериментальная оценка скорости горения метано-водородного топлива с воздухом при изменении концентрации водорода

В.М. Ларионов, Э.Р. Сайфуллин, С.А. Назарычев, А.О. Малахов, Э.А.

Юнусова, Н.В. Константинов

Казанский федеральный университет

Аннотация: Проведена экспериментальная оценка зависимости нормальной скорости распространения пламени метано-водородного топлива с воздухом методом Гуи-Михельсона. Концентрация водорода изменялась в пределах от 0% до 70% по об.

Ключевые слова: скорость горения, нормальная скорость распространения пламени, фронт пламени, метано-водородное топливо, метод Гуи-Михельсона.

Введение

В настоящее время многие нефтехимические предприятия, в том числе Нижнекамскнефтехим (ОАО «ТАИФ-НК»), сжигают газообразные отходы производства факельным путём, что наносит большой вред экологии и является бесполезной тратой тепловой энергии. Однако, в ближайшем будущем их планируют использовать в качестве топлива для котлов Нижнекамской ТЭЦ-1. Газообразные отходы будут смешивать с основным топливом – природным газом. Таким образом, будет полезно использована тепловая энергия и сократится количество вредных выбросов, ввиду лучшего контроля состава уходящих газов на ТЭЦ.

Составы газообразных отходов и природного газа сильно отличаются. Большую часть природного газа составляет метан, тогда как в составе отходов преобладает водород. Данные о составах природного газа и отходов получены в лаборатории химического анализа Нижнекамской ТЭЦ-1 (таблица №1), однако состав газообразных отходов может изменяться во времени, ввиду неравновесности процессов на нефтехимическом предприятии.

Таблица №1

Компонент	Состав природного газа, %	Состав газообразных отходов, %
CH_4	92,1	30,5
C_2H_6	1,8	14,8
C_3H_8	0,8	2,8
C_4H_{10}	0,5	1,2
H_2	0	50
H_2O	0	0,49
CO	0	0,06
N_2	4,8	0
CO_2	0	0,1
H_2S	0	0,002

Теплофизические свойства горения метана и водорода сильно отличаются (таблица №2), особенно их скорость горения – в 8 раз [1,2].

Таблица №2

	Скорость горения, м/с	Адиабатическая температура горения, К	Удельная теплота сгорания, МДж/(кг·К)
CH_4	0,4	2220	60,9
H_2	3,2	2383	120,3

В настоящее время ведется поиск максимально возможной концентрации отходов нефтехимии в природном газе с сохранением требуемой теплопроизводительности котла и стабильного процесса горения. Для определения пределов стабильного горения была проведена оценка скорости горения метано-водородного топлива с воздухом в зависимости от концентрации водорода.

Описание лабораторной установки и методы эксперимента

Лабораторная установка (рис.1) состояла из системы подготовки топливоздушная смеси, блока анализа состава продуктов сгорания и экспериментальной установки (рис.2) с фотофиксацией.

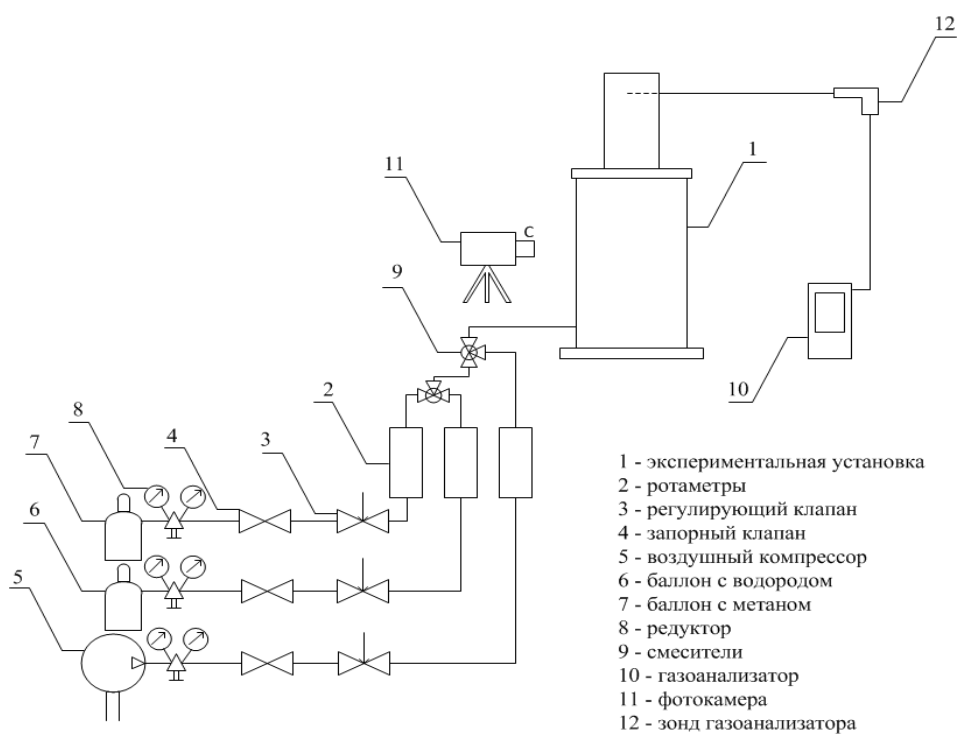


Рис.1 Схема лабораторной установки

После фиксации определенных концентраций метана и водорода находился оптимальный расход воздуха по наименьшей высоте пламени и составу продуктов сгорания [3].

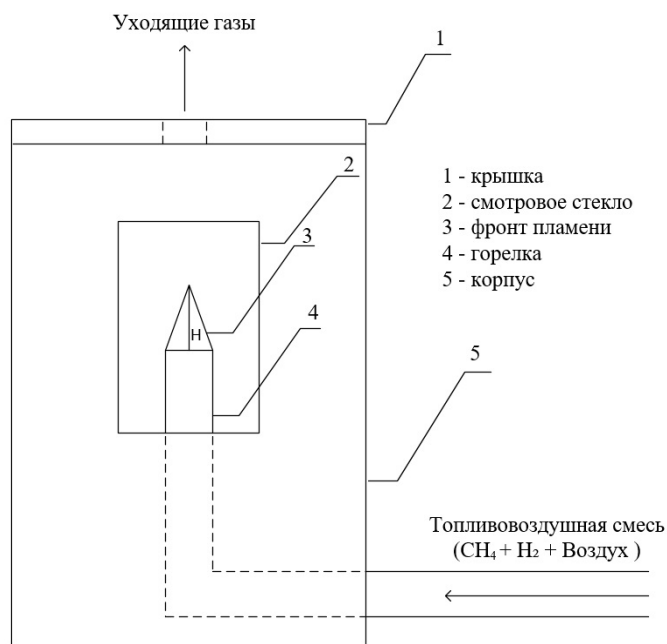


Рис.2 Экспериментальная установка

Фронт пламени фиксировался на фотокамеру. После их графической обработки определялась высота пламён по пропорции внешнего радиуса горелки. После чего, по методу Гуи-Михельсона, была рассчитана нормальная скорость распространения пламени U_n по формуле:

$$U_n = \frac{V}{\pi R \sqrt{H^2 + R^2}},$$

где V – объемный расход смеси метано-водородного топлива с воздухом, м³/с; H – высота пламени, м; R - радиус горелки, м.

Результаты эксперимента

В результате серий экспериментов была получена зависимость скорости горения метано-водородного топлива с воздухом от концентрации водорода (рис.3). Как видно по графику, скорость горения возрастает с квадратичной скоростью при больших концентрациях водорода в топливе.

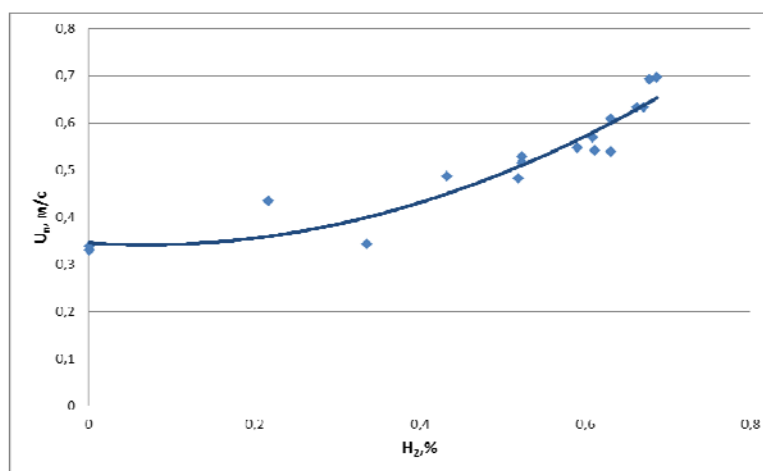


Рис.3 Зависимость нормальной скорости распространения пламени топливозоудной смеси от концентрации водорода в топливе

Заключение

Результаты эксперимента показали рост скорости горения при увеличении концентрации водорода в топливе, аппроксимация полученных данных дает квадратичную зависимость.



Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №18-48-160051.

Литература

1. Mariani A., Morrone B. and Unich A. A Review of Hydrogen-Natural Gas Blend Fuels in Internal Combustion Engines // Fossil Fuel and the Environment, 2012, pp. 17-36.
2. Cardona, C., Amell, A., Burbano, H. Laminar burning velocity of Natural Gas/syngas-air mixture // DYNA (Colombia), 2013, 80 (180), pp. 136-143.
3. Матвеев С.С., Алексеев В.А., Чечет И.В., Матвеев С.Г., Коннов А.А. Определение нормальной скорости распространения пламени смеси метилциклогексан/воздух при различных температурах // Сборник трудов X Международной научно-технической конференции, 2017, с.57-61.
4. Береснев А.Л., Будко А.Ю. Повышение эффективности теплоэнергетических установок методом контроля горения топлива по сигналу ионного тока // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1973
5. Морозов В.А., Морозова О.Н. Совершенствование эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания // Инженерный вестник Дона, 2016, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3503
6. Krikunova A.I., Saveliev A.S., Son E.E. Negatively stretched premixed flames // Journal of Physics: Conference Series. XXXII International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter, ELBRUS 2017" 2018, pp. 1-8.
7. Law, C.K., Cho, P., Mizomoto, M., Yoshida, H. Flame curvature and preferential diffusion in the burning intensity of bunsen flames // Symposium (International) on Combustion, 1988, 21 (1), pp. 1803-1809.

8. Egolfopoulos, F., Law, C.K., Cho, P. Experimental and numerical determination of laminar flame speeds of hydrocarbon/air mixtures under elevated pressures // *Chemical and Physical Processes in Combustion*, 1987, pp. 1-75.

9. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Пер. с англ. Г.Л. Агафонова. Под ред. П.А. Власова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352с.

10. Вадов В.Ю., Денисов Ю.С. А.с. 735869 СССР. Способ автоматической оптимизации процесса горения в котле // Бюл. – 1980. – №19. – 4 с. 2431448 от 17.12.1976. Опубликовано 25.05.1980. Описание изобретения.

References

1. Mariani A., Morrone B. and Unich A. *Fossil Fuel and the Environment*, 2012.

2. Cardona, C., Amell, A., Burbano, H. *DYNA (Colombia)*, 2013, 80 (180), pp. 136-143.f

3. Matveev S.S., Alekseev V.A., Chechet I.V., Matveev S.G., Konnov A.A. *Sbornik trudov X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya*, 2017, 57-61 pp.

4. Beresnev A.L., Budko A.Yu. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1973

5. Morozov V.A., Morozova O.N. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2016, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3503

6. Krikunova A.I., Saveliev A.S., Son E.E. *Journal of Physics: Conference Series. XXXII International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter, ELBRUS 2017"* 2018, pp. 1-8.

7. Law, C.K., Cho, P., Mizomoto, M., Yoshida, H. *Symposium (International) on Combustion*, 1988, 21 (1), pp. 1803-1809.



8. Egolfopoulos, F., Law, C.K., Cho, P. Chemical and Physical Processes in Combustion, 1987, pp. 1-75.

9. Warnatz J., Maas U., Dibble R. Combustion. Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation. 388 p.

10. Vadov V.YU., Denisov YU.S. A.s. 735869 SSSR. Sposob avtomaticheskoy optimizatsii protsessa goreniya v kotle [A method for automatically optimizing the combustion process in a boiler] Byul. 1980. №19. 4 p. 2431448 ot 17.12.1976. Opublikovano 25.05.1980. Opisaniye izobreteniya.