

Горение смесей углеводородных топлив в водонагревательных установках

*В.М. Ларионов¹, С.А. Назарычев¹, А.О. Малахов¹, О.В. Иовлева¹, И.В.
Ларионова²*

¹*Казанский федеральный университет*

²*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н.
Туполева*

Аннотация: Проведено экспериментальное исследование горения смесей углеводородных топлив в водонагревательной установке. Установлены зависимости выходной температуры теплоносителя, от состава топлива в двух случаях: смесь метана и пропан-бутанового топлива, смесь метана и водорода.

Ключевые слова: углеводородное топливо, переменный состав, нагревательные установки, утилизация, энергоэффективное и экологическое горение.

В современной энергетике основным топливом для выработки тепловой и электрической энергии является природный газ. Его потребление с каждым годом растет и в перспективе проблема ресурсосбережения станет чрезвычайно актуальной [1,2]. В настоящее время ведутся исследования по использованию альтернативных видов топлива: попутный нефтяной газ, отходы нефтехимических производств, свалочный газ, синтез газ и др. Такой подход позволит решить и другую проблему – экологическую, связанную с утилизацией промышленных и бытовых отходов. Однако непостоянство состава таких топлив, их теплотехнических характеристик приводит к нестабильной работе энергетических установок. Поэтому исследование процессов горения и теплообмена в установках, использующих углеводородное топливо переменного состава – актуальная задача [3,4].

Была создана лабораторная водонагревательная установка [5,6], состоящая из цилиндрической камеры сгорания предварительно подготовленной смеси топлива и воздуха и спиралевидного устройства для нагревания воды (рис. 1).

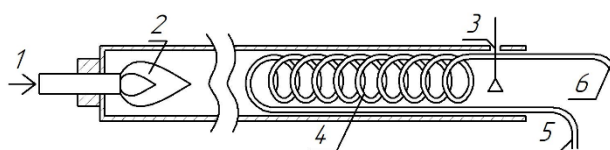


Рис. 1. – Лабораторная водонагревательная установка: 1 – подача топливо-воздушной смеси; 2 – фронт пламени; 3 – газоанализатор; 4 – теплообменник; 5 – вход теплоносителя; 6 – выход теплоносителя

В ходе эксперимента использовался природный газ ($\text{CH}_4=94\%$), пропан-бутановое топливо ($\text{C}_3\text{H}_8=75\%$, $\text{C}_5\text{H}_{10}=15\%$) и водород ($\text{H}_2=100\%$) [7, 8]. При постоянной температуре теплоносителя на входе теплообменника измерялась температура теплоносителя на выходе, при различных значениях коэффициента избытка воздуха от 0,7 до 1,45 (рис. 2).

1. Для повышения УТС топлива к природному газу добавлялось пропан-бутановое топливо, концентрация которого изменялась от 0 до 30%. При этом общий расход топлива и расход воздуха оставались постоянными. В установку был подан природный газ с воздухом при коэффициенте избытка воздуха (α)=1. Температура теплоносителя на выходе из теплообменника составила 35 °С. В дальнейшем к природному газу подмешивалось пропан-бутановое топливо, при сохранении общего расхода газовой смеси и постоянного расхода воздуха. При увеличении концентрации пропан-бутана в смеси температура теплоносителя практически не изменялась, при дальнейшем увеличении пропан-бутана температура теплоносителя пошла на убыль, что свидетельствовало о большом недожоге топлива ($\alpha=0,72$) (рис.2). При других концентрациях несгоревшее топливо с воздухом догорало в трубе с уходящими газами, которое дополнительно подогрело теплообменник, за счет чего температура теплоносителя не изменялась. При увеличении концентрации пропан-бутана в смеси возрастала удельная теплота сгорания (УТС) топлива, что также влияло на постоянство

температуры теплоносителя, даже при большом недожоге топлива. Как известно [9] (Тепловой расчет котлов (нормативный метод) 3-е издание. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998, с. 28.) для сжигания 1 м³ природного газа необходимо значительно меньше воздуха, чем для сжигания пропан-бутана ($V_{\text{CH}_4}=9,73$ л, $V_{\text{C}_3\text{H}_8}=23,49$ л), поэтому в ходе эксперимента, при увеличении концентрации пропан-бутана в смеси, горение проходило при большом недожоге.

Аналогичным образом проведен эксперимент с добавлением водорода к природному газу, для моделирования уменьшение УТС топлива. Температура теплоносителя, при увеличении концентрации водорода в смеси, сразу начинает уменьшаться, так как водород горит на много быстрее метана ($U_{\text{H}_2}=2,67$ м/с, $U_{\text{CH}_4}=0,37$ м/с) для сжигания 1 м³ водорода требуется значительно меньше воздуха ($V_{\text{H}_2}=2,38$ л, $V_{\text{CH}_4}=9,73$ л), по сравнению с метаном, поэтому горение происходит с большим избытком воздуха.

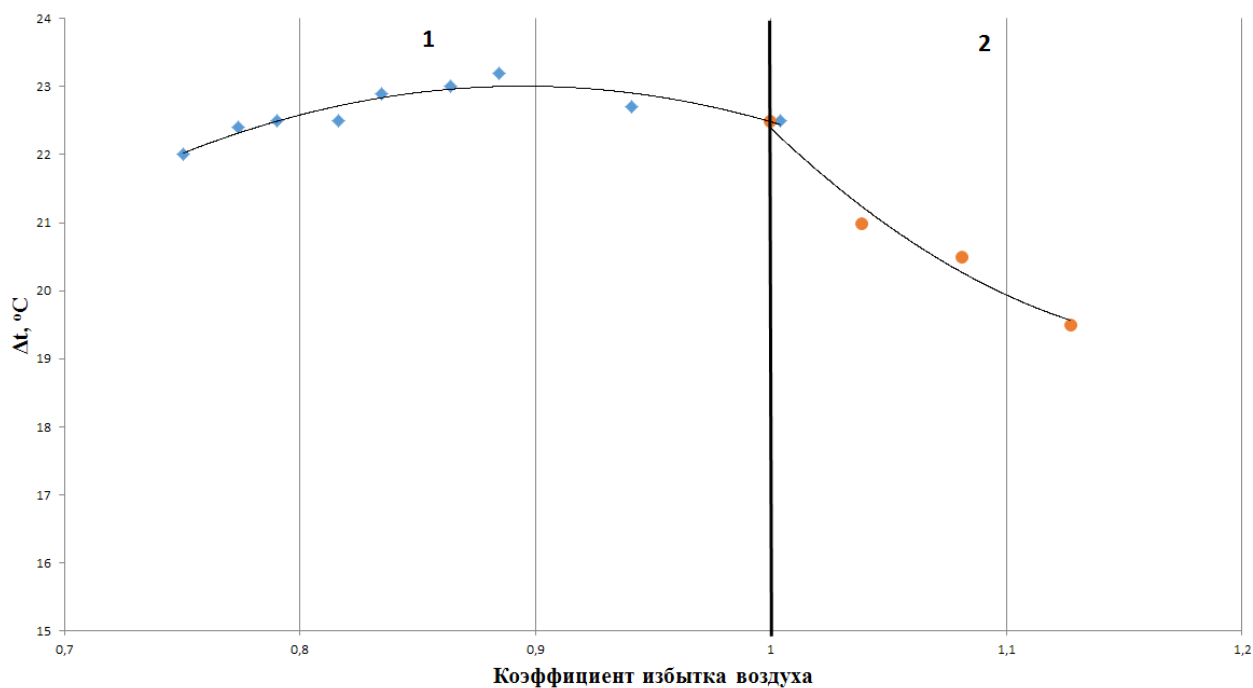


Рис. 2. Изменение разности температур Δt теплоносителя от коэффициента избытка воздуха α : 1 – пропан-бутан, 2 – водород

Было исследовано изменение разности температур теплоносителя на выходе из лабораторной водонагревательной установки, от расхода топлива при различных концентрациях пропан-бутана в смеси (рис.3).

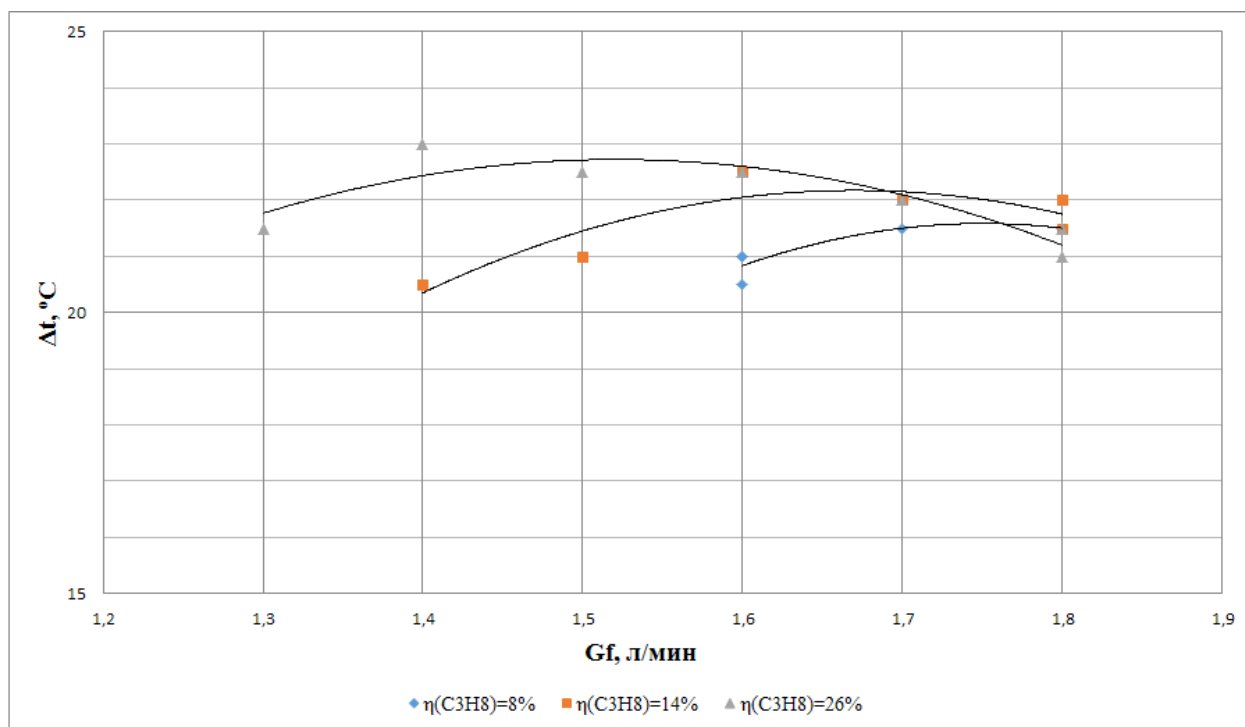


Рис.3. Изменение разности температур теплоносителя от расхода топлива при различных концентрациях пропан-бутана в смеси

Как видно из графика, после увеличения концентрации пропан-бутана в смеси, увеличивается удельная теплота сгорания топлива, что приводит к его недожегу, т.е. к ухудшению экологических показателей процесса горения и его нерациональному использованию [9,10]. Поэтому снижаем расход топлива до минимальных значений, для которых при полном сгорании топлива будет восстановлено начальное значение температуры теплоносителя.

Заключение

Результаты исследования послужат основой для разработки технологий сжигания углеводородных топлив непостоянного состава, например попутного нефтяного газа, газообразных отходов нефтехимических производств. Это позволит в тепловых энергетических установках сократить потребление основного топлива – природного газа и в тоже время решить экологическую задачу – утилизацию промышленных отходов.

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

Литература

1. Electricity Information 2019. International Energy Agency. URL: webstore.iea.org/electricity-information-2019.
2. Kayadelen H.K. Effect of natural gas components on its flame temperature, equilibrium combustion products and thermodynamic properties // Journal of Natural Gas Science and Engineering 45 (2017). Pp. 456-473.
3. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: справочное издание: В 3-х книгах. Книга 1 / Под ред. Лисиенко В.Г. М: Теплотехник, 2003. 608 с.
4. Кулагин А.Ю., Торопов Е.В. Влияние состава газообразного топлива на тепловое напряжение камеры сгорания. Наука и технологии. Труды XXVI Российской школы. – 2006. – Т1. – С. 147-155.
5. Saifullin E.R., Larionov V.M., Nazarychev S.A., Vankov Yu.V., Sadikov K. G., Ananiev Ya.V. Approbation of the algorithm for combustion optimization of a multicomponent fuel with air. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 288 (2019). doi:10.1088/1755-1315/288/1/012115.
6. Larionov V.M., Saifullin E.R., Konstantinov N.V., Nazarychev S.A., Malahov A. O., Yunusova E.A. The influence of hydrogen concentration on the flame temperature of a mixture of methane-hydrogen fuel with air. IOP Conf.

Series: Journal of Physics: Conf. Series (2019). doi:10.1088/1742-6596/1328/1/012048.

7. Михеев В.П., Медников Ю.П. Сжигание природного газа. Л.: Недра, 1975. – 391 с.

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

9. Сайфуллин Э.Р., Назарычев С.А., Газейкина А.В., Ваньков Ю.В., Ларионова И.В. Анализ теплотехнических характеристик углеводородного топлива при изменении его состава. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(3-4):145-150. doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-145-150.

10. Кнорре Г.Ф., Арефьев К.М., Блох А.Г. Теория топочных процессов. М.: "Энергия", 1966, с. 491.

References

1. Electricity Information 2019. International Energy Agency. URL: webstore.iea.org/electricity-information-2019.

2. Kayadelen H.K. Journal of Natural Gas Science and Engineering 45 (2017). Pp. 456-473.

3. Lisiyenko V.G., Shchelokov YA.M., Ladygichev M.G. Toplivo. Ratsional'noye szhiganiye, upravleniye i tekhnologicheskoye ispol'zovaniye: spravochnoye izdaniye [Fuel. Rational Combustion, Management, and Technological Use: A Reference Book]. М: Teplotekhnik. 2003. 608 p.

4. Kulagin A.Ju., Toropov E.V. Nauka i tehnologii. Trudy NНVI Rossijskoj shkoly. 2006. T1. pp. 147-155.



5. Saifullin E.R., Larionov V.M., Nazarychev S.A., Vankov Yu.V., Sadikov K. G., Ananiev Ya.V. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 288 (2019). doi:10.1088/1755-1315/288/1/012115.

6. Larionov V.M., Saifullin E.R., Konstantinov N.V., Nazarychev S.A., Malahov A. O., Yunusova E.A. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (2019). doi:10.1088/1742-6596/1328/1/012048.

7. Miheev V.P., Mednikov Ju.P. Szhiganiye prirodnogo gaza [Natural gas burning]. L.: Nedra. 1975. p. 391.

8. Varnatts YU., Maas U., Dibbl R. Goreniye. Fizicheskiye i khimicheskiye aspekty, modelirovaniye, eksperimenty, obrazovaniye zagryaznyayushchikh veshchestv [Combustion. Physical and chemical aspects, modeling, experiments, the formation of pollutants]. M.: FIZMATLIT. 2003. 352p.

9. Saifullin E.R., Nazarychev S.A., Gazeykina A.V., Vankov Y.V., Larionova I.V. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki.2018; 20(3-4):145-150. doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-145-150.

10. Knorre G.F., Arefev K.M., Bloh A.G. Teoriya topochnyh processov [Theory of furnace processes]. M.: "Jenergija", 1966. pp. 491.