

АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕГО СОСТАВА

Э.Р. Сайфуллин¹, С.А. Назарычев¹, А.В. Газейкина¹, Ю.В. Ваньков², И.В. Ларионова³

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

³Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, г. Казань, Россия

Резюме: Содержание компонентов в газообразном топливе может меняться в широких пределах в зависимости от источника, времени и стадии разработки конкретного месторождения. Изменение состава приводит к изменению теплотехнических характеристик топлива, что влияет на эффективность процесса горения. В данной статье представлены результаты расчетов влияния состава топлива на его теплотехнические характеристики. Расчеты проводились с использованием аналитического и нормативного методов. Были получены зависимости удельной теплоты сгорания топлива от удельного расхода воздуха.

Ключевые слова: теплофизика, теплоэнергетика, оптимизация горения, переменный состав топлива, теплотехнические характеристики топлива, теплоэнергетические установки.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-145-150

ANALYSIS OF THERMOTECNICAL CHARACTERISTICS OF HYDROCARBON FUEL VARIABLE COMPOSITION

E.R. Saifullin¹, S.A. Nazarychev¹, A.V. Gazeykina¹, Y.V. Vankov², I.V. Larionova³

¹Kazan Federal University, Kazan, Russia

²Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

³Kazan National Research Technical University A.N. Tupolev, Kazan, Russia

Abstract: The content of components in gaseous fuels can vary widely, depending on the source, time and stage of development of a fuel field. The change in composition leads to a change in the thermotechnical characteristics of gas, which affects the efficiency of the combustion process. This article presents the results of calculations of the effect of the composition of fuel on its thermotechnical characteristics. Calculations were carried out using analytical and normative methods. The dependence of the fuel specific heat of combustion on the specific air rate was obtained.

Keywords: thermophysics, heat power engineering, optimization of combustion, fuel variable composition, fuel thermotechnical characteristics, power plants.

Введение

Согласно Указу Президента Российской Федерации № 899 от 07.07.2011 г. приоритетным направлением развития науки, технологий и техники является «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а одной из критических

технологий Российской Федерации развития является «Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе». Также в Энергетической стратегии России на период до 2030 года, приоритетными направлениями развития энергетики являются снижение удельных затрат топлива при производстве и потреблении энергоресурсов за счет применения энергосберегающих технологий и оборудования.

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), на теплоэлектростанциях, сжигающих ископаемые топлива, производится самая большая доля электроэнергии в мире [1]. Рост потребления электроэнергии заставляет задуматься над вопросами энергосбережения и энергоэффективности процессов горения углеводородного топлива.

Состав газообразного углеводородного топлива может варьироваться в зависимости от источника и времени. Основными причинами изменения состава топлива являются:

- Сезонные изменения;
- Периодическое накопление конденсата тяжелых углеводородов в газопроводах;
- Изменения, связанные со стадией разработки месторождения газа.

Изменения состава топлива приводит к операционной нестабильности теплоэнергетической установки и, тем самым снижают эффективность её работы [2-7]. В работах было показано, что изменение состава газа оказывает влияние на температуру горения, скорость горения, удельную теплоту сгорания, состав продуктов сгорания. В результате данных изменений нарушается стабильность работы теплоэнергетической установки: возникает вероятность срыва пламени (уход пламени вглубь топочного пространства), обратной вспышки (распространение пламени внутрь горелки), неустойчивости горения (пульсации давления), самовоспламенению (возгорание газозооушной смеси в смесеобразовательном пространстве), локального перегрева поверхностей. Также, в результате влияния состава топлива на процесс горения появляются экологические риски.

Данные об изменениях состава топлива, как правило, недоступны по причинам коммерческого характера или из-за их отсутствия. Этот фактор является основным препятствием для решения проблемы сжигания топлив нестабильного состава. Поэтому в данной работе используются известные данные о составе газов, соответствующих ряду отечественных месторождений природного газа и нефти, предприятий по переработке нефти [8]. Такая информация позволяет оценить возможный диапазон изменения состава рассматриваемых топлив.

Для проведения анализа влияния состава газообразного углеводородного топлива на его теплотехнические характеристики целесообразно использовать апробированные методы расчета. В настоящее время на практике широко используется «нормативный» метод расчета котельных установок, который включает в себя расчет теплотехнических характеристик топлива. Но он требует знания теплотехнических характеристик всех компонентов топлива. Количество воздуха рассчитывается при условии полного сгорания топлива. Расчеты проводятся с использованием целого ряда полуэмпирических формул и не позволяют в явном виде установить зависимость между основными теплотехническими характеристиками, например, удельной теплотой сгорания и удельным количеством воздуха соответствующим полному сгоранию топлива.

Аналитические расчеты не только много проще обычных «нормативных», но и надежнее, вследствие резкого уменьшения числа арифметических операций, увеличивающих возможную максимальную ошибку вычислений. В частности, для углеводородных топлив метанового ряда в теории горения имеются соотношения для указанных выше характеристик топлива, позволяющие установить их зависимость от одного параметра – углеродного числа. Это дает возможность напрямую связать эти

характеристики топлива. В этом случае анализ влияния состава топлива на его теплотехнические характеристики будет гораздо проще и наглядней.

Цель данной работы – оценка влияния состава газообразного углеводородного топлива на его теплотехнические характеристики; определение зависимости удельной теплоты сгорания топлива от удельного (оптимального) расхода воздуха.

Условия расчета

В качестве примера состава газообразного топлива были взяты 15 месторождений природного газа, попутного нефтяного газа и нефтезаводских газов [8]. Составы газов приведены в (табл. 1).

Таблица 1

Месторождения углеводородных топлив								
№	Республика, область, месторождение	Состав газа, %						
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂
1. Месторождения природного газа								
1.1.	Коми, Ой-Войжское	88,6	1	0,2	0,09	0,06	0,05	10
1.2.	Тюменская обл., Арктическое	98,0	0,1	–	–	–	0,1	1,8
1.3.	Сахалинская обл., Прибрежное	98,0	0,2	–	–	–	0,8	1,0
1.4.	Калмыкия, Ики-Бурульское	91,0	6,0	0,1	–	–	0,3	8,0
1.5.	Волгоградская обл., Саушинское	98,2	4,0	0,15	–	–	0,05	1,2
2. Месторождения попутного нефтяного газа								
2.1.	Азербайджан, Биби-Эйват	90,7	3,0	0,5	1,4	2,0	1,4	1,0
2.2.	Чечено-Ингушетия, Западный Небит-Даг	91	3,0	2,3	1,3	1,8	0,5	–
2.3.	Башкирия, Шпаковское	40	15	17	6,9	4,0	0,1	–
2.4.	Куйбышевская обл., Жигулевское	43,2	14,5	19	7,9	4,9	0,5	–
2.5.	Татарстан, Бавлинское	35,5	21,8	19	8,5	4,8	0,1	–
3. Месторождения нефтезаводских газов								
3.1.	Башкирия, Шпаковское	1,1	3,7	18,4	31,2	6,2	26,8	12,8
3.2.	Татарстан, Елабуга	–	3,1	18,4	40,5	5,5	230	10,9
3.3.	Куйбышевская обл., Сероводское	–	2,6	11,3	36,8	9,1	17,2	23,0
3.4.	Волгоградская обл., Коробковское	–	2,1	12,7	27,9	10,3	26,8	20,2
3.5.	Куйбышевское обл., Покровское	–	–	7,0	36,4	6,4	26,0	24,2

Расчет проводился с использованием базовых соотношений нормативного метода, используемого для расчетов режимов работы котлов [9]. Для сравнения те же расчеты были проведены по упрощенной методике, на основании известных аналитических соотношений теории топочных процессов [10].

Результаты

Были рассчитаны основные теплотехнические характеристики рассмотренных видов топлива (табл. 2).

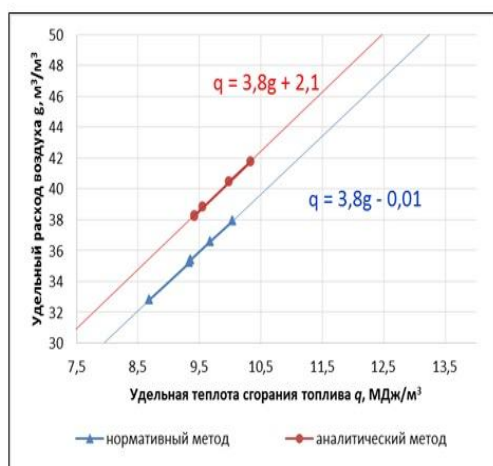
Таблица 2

Теплотехнические характеристики топлива различных месторождений										
№	Метод расчета									
	Нормативный					Аналитический				
	q , МДж/м ³	g	V_{NO_2}	V_{RO_2}	V_{H_2O}	q , МДж/м ³	g	V_{NO_2}	V_{RO_2}	V_{H_2O}
1.1	32,8	8,7	7,0	0,9	2,0	38,9	9,6	8,7	1,0	2,0
1.2	35,2	9,3	7,4	1,0	2,1	38,2	9,4	8,5	1,0	2,0
1.3	35,4	9,4	7,4	1,0	2,1	38,3	9,4	8,5	1,0	2,0
1.4	36,6	9,7	7,7	1,0	2,2	41,8	10,3	9,4	1,1	2,1
1.5	37,9	10,1	8,0	1,1	2,3	40,5	10,0	9,0	1,1	2,1
2.1	39,9	10,3	8,1	1,1	2,3	42,4	10,5	9,5	1,2	2,2
2.2	41,1	10,7	8,1	1,2	2,3	43,5	10,8	9,7	1,2	2,2

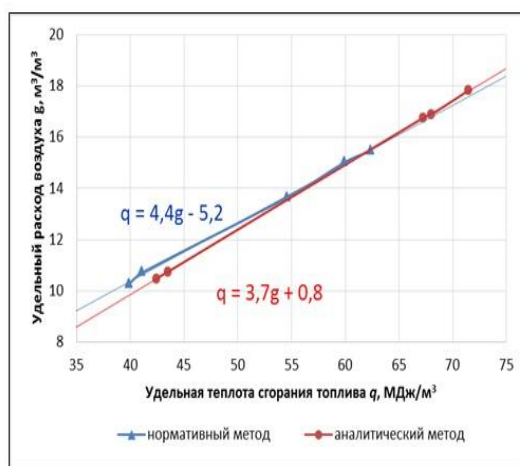
Продолжение таблицы 2

2.3	54,6	13,7	11,0	1,7	2,7	67,2	16,8	15,3	2,0	3,0
2.4	59,9	15,0	11,9	1,9	3,0	68,0	16,9	9,4	1,1	2,1
2.5	62,4	15,5	12,3	1,9	3,1	71,5	17,8	9,0	1,1	2,1
3.1	128,0	31,7	25,1	4,1	5,6	126,0	31,6	29,0	4,1	5,1
3.2	128,9	32,0	24,1	4,1	5,4	127,0	31,9	29,3	4,1	5,1
3.3	131,7	32,6	25,8	4,2	5,8	129,5	32,5	29,9	4,2	5,2
3.4	133,8	33,1	26,1	4,3	5,8	131,3	32,9	30,3	4,3	5,3
3.5	137,9	34,0	26,9	4,4	6,0	135,0	33,9	31,2	4,4	5,4

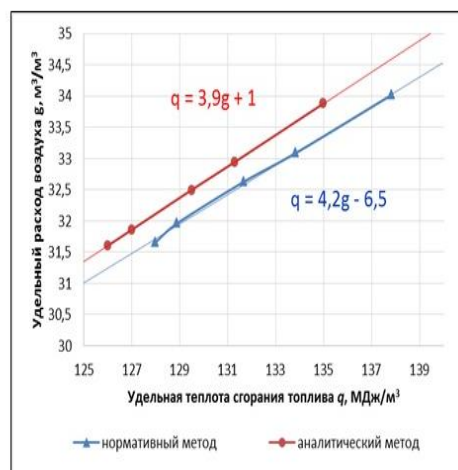
На основании полученных данных были определены зависимости удельного (оптимального) расхода воздуха от удельной теплоты сгорания топлива по двум методам для 3-х видов газообразного топлива. Ввиду того, что данные виды газов принадлежат метановому ряду C_nH_{2n+2} , зависимость их состава от теплотехнических характеристик приобретает линейный характер. Полученные зависимости, рассчитанные по аналитическому и нормативному методам, хорошо сопоставимы (см. рис.).



а)



б)



в)

Рис. Зависимости удельного расхода воздуха от удельной теплоты сгорания, рассчитанные нормативным и аналитическими методами, для природного газа (а); попутного нефтяного газа; (б); нефтезаводских газов (в)

Выводы

На основании известных данных о составе природного газа, попутного нефтяного газа и ряда отходов нефтехимической переработки выполнены расчеты и создана база данных об основных теплотехнических характеристиках рассмотренных видов топлива.

Установлена зависимость удельного оптимального количества воздуха с удельной теплотой сгорания углеводородного топлива. Показано, что по сравнению с нормативным, аналитический метод значительно проще и позволяет установить непосредственную наглядную связь удельного оптимального количества воздуха с удельной теплотой сгорания углеводородного топлива. Авторы рекомендуют использовать аналитический метод расчета теплотехнических характеристик топлива ввиду его наглядности и простоты.

Результаты послужат основой для анализа состава топлива на характер режимов горения в тепловых энергетических установках и поиска оптимальных расходов топлива и воздуха.

Литература

1. International Energy Agency, "Electricity Information 2015".
2. Roland T.H. Associated petroleum gas in Russia: reasons for non-utilization. Fridtjof Nansen Institute, Report 13/2010.
3. 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.
4. Sayad P. Operational stability of lean premixed combustion in gas turbines an experimental study on gaseous alternative fuels, Doctoral Dissertation (2016), Lund University.
5. Syred N., Abdulsada M., Griffiths A., O'Doherty T., Bowen P. The effect of hydrogen containing fuel blends upon flashback in swirl burners (2012) Applied Energy, 89 (1), pp. 106–110.
6. Lieuwen T., McDonell V., Petersen E., Santavicca D. Fuel flexibility influences on premixed combustor blowout, flashback, autoignition, and stability (2008) // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 130 (1). 011506.
7. Cala O.M., Meriño L., Kafarov V., Saavedra J. Evaluation of combustion models for determination of refinery furnaces efficiency (2015) Ingeniare, 23 (3), pp. 429–438.
8. 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. В.Г. Лисиенко. М: Теплотехник, 2003. 608 с.
9. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) 3-е издание. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998.
10. Теория топочных процессов / Г.Ф. Кнорре, К.М. Арефьев, А.Г. Блох и др.; под ред. Г.Ф. Кнорре, И.И. Палеева. М.; Л.: Энергия, 1966. 491 с.

Авторы публикации

Сайфуллин Эмиль Ринатович – аспирант Казанского федерального университета. E-mail: mr.emilsr@gmail.com.

Назарычев Сергей Александрович – аспирант Казанского федерального университета. E-mail: nazarichev.sa@gmail.com.

Газейкина Ангелина Владимировна – магистр Казанского федерального университета. E-mail: mr.emilsr@gmail.com.

Ваньков Юрий Витальевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» (ПЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: yvankov@mail.ru.

References

1. International Energy Agency, "Electricity Information 2015".
2. Roland TH. Associated petroleum gas in Russia: reasons for non-utilization. Fridtjof Nansen Institute, Report 13/2010.
3. 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.
4. Sayad, P. Operational stability of lean premixed combustion in gas turbines an experimental study on gaseous alternative fuels, Doctoral Dissertation (2016), Lund University.
5. Syred, N., Abdulsada, M., Griffiths, A., O'Doherty, T., Bowen, P. The effect of hydrogen containing fuel blends upon flashback in swirl burners (2012) Applied Energy, 89 (1), pp. 106–110.
6. Lieuwen, T., McDonell, V., Petersen, E., Santavicca, D. Fuel flexibility influences on premixed combustor blowout, flashback, autoignition, and stability (2008) // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 130 (1), 011506.
7. Cala, O.M., Meriño, L., Kafarov, V., Saavedra, J. Evaluation of combustion models for determination of refinery furnaces efficiency (2015) Ingeniare, 23 (3), pp. 429–438.
8. Lisienko V.G., Shchelokov Ya.M., Ladygichev M.G. «Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование»: справочное издание: В 3-х книгах. Книга 1 / Под ред. V.G. Lisienko. M: Teplotekhnika, 2003. 608 s.
9. Teplovoi raschet kotlov (normativnyi metod) 3-e izdanie. NPO TsKTI, SPb, 1998.
10. Teoriya topochnykh protsessov / G.F. Knorre, K.M. Arefev, A.G. Blokh i dr.; pod red. G.F. Knorre, I.I. Paleeva. M.; L.: Energiya, 1966. 491 s.

Authors of the publication

Saifullin Emil Rinatovich – post graduate Kazan Federal University.

Nazarychev Sergey Aleksandrovich – post graduate Kazan Federal University.

Gazeykina Angelina Vladimirovna – graduate student Kazan Federal University.

Vankov Yuriy Vitalevich – professor Kazan State Power Engineering University.

Larionova Irina Viktorovna – assistant professor Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev.

Поступила в редакцию

18 декабря 2017 года.