



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАВКОСТИ ЗОЛЫ ТОРФА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Кузьмин, И.А. Заграй, И.А. Десятков

Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

ivan109292@gmail.com

Резюме: В работе рассматриваются вопросы, связанные с эффектом шлакования топков паровых энергетических котлов и результаты определения плавкости золы торфа месторождений Кировской области. По четырем производственным участкам (Дымный, Пищальский, Каринский, Гороховский) представлены плавкостные свойства золы (температуры деформации, сферы, полусферы, растекания) в зависимости от ее химического состава. Температура плавления минеральной части торфа, определяемая по ГОСТу, является усредненной и не отражает реальной температуры плавления отдельных частиц в летучей золе. Наличие таких отдельных частиц, имеющих температуру плавления ниже средней температуры плавления золы, затрудняет нахождение рабочей температуры факела, обеспечивающей наименьшее шлакование топки при сжигании торфа. Выполнено сравнение плавкостных характеристик золы торфа со справочными литературными данными. Вычислена температура начала шлакования в зависимости от соотношения кислотных и основных оксидов в золе торфа.

Ключевые слова: температура деформации, температура сферы, температура полусферы, температура растекания, температура начала шлакования, шлакование, химический состав.

Благодарности: Работа, по результатам которой представлена статья, выполнена по программе «Аспирантура 2.0» ФГБОУ ВО «ВятГУ», приказ № 925 от 24.10.2017.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-27-33.

Для цитирования: Кузьмин В.А., Заграй И.А., Десятков И.А. Определение плавкости золы торфа месторождений Кировской области// Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 27-33. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-27-33.

DETERMINATION OF PEAT ASH FUSIBILITY OF KIROV REGION DEPOSITS

V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, I.A. Desiatkov

Vyatka State University, Kirov, Russia

ivan109292@gmail.com

Abstract: the paper deals with the issues related to the effect of slagging within the steam boilers furnaces and shows the determination results on peat ash fusibility of Kirov region deposits. Fusibility properties of peat ash (temperatures of deformation, sphere, hemisphere and flow) from the four industrial areas (Dymny, Pishchalsky, Karinsky, Gorokhovsky) depending on its chemical composition are presented. Melting temperature of the mineral part of the peat, determined by

GOST, is averaged and does not reflect the actual melting temperature of the individual particles in fly ash. The existence of such separate particles having a melting temperature below the average melting temperature of the ash makes it difficult to find the operating temperature of the torch to reach the minimum of the furnace slagging during peat combustion. The comparison of melting characteristics of peat ash with the reference literature data is performed. The initial slagging temperature is calculated depending on the ratio of the acidic and basic oxides in peat ash.

Keywords: *deformation temperature, sphere temperature, hemisphere temperature, flow temperature, initial slagging temperature, slagging, chemical composition.*

Acknowledgments: *The reported study was performed under the program "Post graduate course 2.0" in VyatSU according to the order № 925 from 24.10.2017*

For citation: *V.A. Kuzmin, I.A. Zagrai, I.A. Desiatkov Determination of peat ash fusibility of kirov region deposits. Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 11-12. pp. 27-33. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-27-33.*

Введение

Процесс шлакования накладывает ряд ограничений на организацию режима работы котельного оборудования, повышает износ экранных и конвективных поверхностей котла, снижает эффективность теплообмена факела с поверхностями нагрева котельного агрегата, повышает аэродинамическое сопротивление по газоходам, интенсифицирует процесс коррозии [1].

На данный момент большинство теплоэлектроцентралей европейской части России переведено на сжигание природного газа, при котором не нужно уделять внимание проблемам шлакования и, следовательно, использованию специальных конструктивных и режимно-наладочных приемов. Однако на некоторых объектах использование природного газа невозможно, либо возможно в ограниченных объемах в силу экономических, стратегических, социальных или иных причин. Одним из таких объектов является Кировская ТЭЦ-4, входящая в состав ПАО «Т Плюс» и использующая в качестве топлива фрезерный торф с подсветкой природным газом. Фрезерный торф используется из-за близости месторождений к точке потребления, что дает низкую стоимость топлива, и из-за нехватки объемов природного газа, прокачиваемого через газотранспортную систему, особенно в осенне-зимний отопительный период.

При прохождении ТЭЦ-4 осенне-зимнего отопительного периода периодически оперативным персоналом станции поднимается вопрос о шлаковании топочных и конвективных поверхностей котла, поэтому перед службами ТЭЦ ставится задача поиска оптимальных режимов работы котельных агрегатов. Данная работа невозможна без определения и изучения характеристик топлива, в том числе плавкостных характеристик зольного остатка фрезерного торфа.

Свойство золы торфа постепенно переходить из твердого состояния в жидко-плавкое при нагревании в стандартных условиях называется *плавкостью* и характеризуется набором температур, при которых происходят характерные изменения формы образца. В настоящее время плавкость золы – общепринятый показатель, характеризующий свойства золы образовывать шлаки в топках (шлакуемость топлива). Шлакуемость и загрязнение золой теплообменных поверхностей в котле напрямую зависит от качественного и количественного химического состава минеральной части торфа и рабочей температуры в топке котла [2–3]. Как правило, зола торфа состоит из оксидов SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO ,

K_2O_3 , MgO , NaO , которые имеют разные химические свойства и отличаются по температуре плавления. На долю оксидов кремния (SiO_2), алюминия (Al_2O_3), железа (Fe_2O_3) и кальция (CaO) приходится более 80 % массы золы. Входящие в состав минеральных примесей оксиды SiO_2 и Al_2O_3 повышают температуру плавления золы, а оксиды Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O и Na_2O понижают ее. Температура плавления золы зависит от соотношения содержания кальция и кремнекислоты в золе топлива, понижаясь с увеличением содержания кальция [4, 5].

Методика исследования

В данной работе исследовались плавкостные характеристики золы торфа, добываемого на территории Кировской области с 4-х производственных участков: Дымный (поселок Светлополянск Верхнекамского района), Пищальский (поселок Мирный Оричевского района), Каринский (поселок Октябрьский Слободского района), Гороховский (поселок Комсомольский Котельничского района).

Определение плавкости золы торфа было произведено на основании ГОСТ 32978-2014 «Топливо твердое минеральное. Определение плавкости золы» в сотрудничестве с испытательным центром (ИЦ) «Теплотехник» ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» (ВТИ).

Для выполнения исследований использовалось следующее основное оборудование: весы лабораторные электронные, электропечь лабораторная SNOL 7.2/1100, преобразователь термоэлектрический (термопара) для измерения температуры с измерительным прибором. В ходе эксперимента записывались температуры, при которых происходят характерные изменения формы образца.

Температура деформации, T_1 определяет температуру, при которой появляются первые признаки оплавления и скругления верхушки или кромок испытуемого образца вследствие его размягчения или происходит наклон вершины пирамиды.

Зола торфа в зависимости от температуры деформации T_1 делится на три категории: легкоплавкая ($T_1 < 1273$ К), среднеплавкая ($T_1 = 1273 - 1473$ К) и тугоплавкая ($T_1 > 1473$ К) [4, 6–7].

Температура, при которой образцы принимают приблизительно сферическую форму, называют *температурой сферы, T_2* . При этом высота образцов в виде трехгранной пирамиды или усеченного конуса становится равной ширине основания, а высота образцов кубической или цилиндрической формы остается неизменной. Кромки этих образцов становятся полностью скругленными.

Температура полусферы, T_3 , показывает температуру, при которой испытуемый образец принимает приблизительно полусферическую форму, т. е. его высота становится равной половине ширины основания.

На последнем этапе фиксируется *температура растекания, T_4* , при которой расплавленная зола растекается по подставке, образуя слой, высота которого равна одной трети высоты образца при температуре полусферы.

В зависимости от температуры начала жидкоплавкого состояния T_4 , все твердые топлива разделяются на три группы: с легкоплавкой золой ($T_4 < 1623$ К); с золой средней плавкости ($T_4 = 1623 - 1723$ К); с тугоплавкой золой ($T_4 > 1723$ К).

Результаты исследования

В таблице приведены результаты испытаний плавкости золы торфа в зависимости от ее химического состава по четырем месторождениям Кировской области.

Температура плавления минеральной части торфа, определяемая по ГОСТу 32978-2014, является усредненной и не отражает реальной температуры плавления отдельных частиц в летучей золе [8]. Наличие таких отдельных частиц, имеющих температуру плавления ниже средней температуры плавления золы, определяемой по ГОСТу, затрудняет нахождение рабочей температуры факела, обеспечивающей наименьшее шлакование топки.

Температура начала шлакования $T_{\text{шл}}$ определяет температуру газов, при которой на теплообменных поверхностях наблюдаются быстрорастущие золовые отложения, с составом, близким к минеральной части топлива.

В работах [9–10] приводятся формулы для определения температуры начала шлакования $T_{\text{шл}}$ по химическому составу золы.

$$T_{\text{шл}} = 1218 + 7,77 \cdot \text{K/O} \text{ при } \text{K/O} > 2,25, \quad (1)$$

$$T_{\text{шл}} = 1213 + \frac{52,23}{\text{K/O}} \text{ при } \text{K/O} < 2,25, \quad (2)$$

где $\text{K} = \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ (сумма кислотных оксидов); $\text{O} = \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (сумма основных оксидов).

Результаты расчетов температуры шлакования указанных образцов приведены в таблице.

Таблица

Химический состав и плавкость золы торфа

Наименование показателя	Производственный участок				Справочник энергетических топлив СССР [11]
	Дымный	Пищальский	Каринский	Гороховский	
SiO ₂ , %	47,59	31,97	30,92	57,15	47,00
Al ₂ O ₃ , %	18,96	10,13	8,27	12,36	14,50
TiO ₂ , %	0,45	0,34	0,37	0,58	0,40
Fe ₂ O ₃ , %	20,84	23,42	8,33	6,13	20,40
CaO, %	4,88	18,24	31,14	9,95	12,10
MgO, %	0,62	1,14	4,30	1,32	2,20
K ₂ O, %	1,22	0,71	0,56	1,54	0,70
Na ₂ O, %	0,38	0,30	0,23	0,77	0,80
P ₂ O ₅ , %	4,02	2,65	1,80	1,54	1,90
SO ₃ , %	0,55	8,95	11,98	7,13	–
Сумма кислотных оксидов К, %	67	42,44	39,56	70,09	61,9
Сумма основных оксидов О, %	7,1	20,39	36,23	13,58	15,8
К/О	9,44	2,08	1,09	5,16	3,92
Температура начала шлакования $T_{\text{шл}}$, К (1) и (2)	1291	1238	1261	1258	1248
Температура деформации T_1 , К	1473	1413	1453	1403	1513
Температура сферы T_2 , К	1543	1443	1463	1453	1543
Температура полусферы T_3 , К	1593	1493	1463	1553	–
Температура растекания T_4 , К	1623	1523	1483	1623	1653

Зависимости плавкостных температур и температур начала шлакования от соотношения кислотных и основных оксидов в золе торфа показаны на рисунке.

Зависимость $T_{\text{шл}}$ от К/О для указанных образцов представляет кривую с минимумом, соответствующему $\text{K/O} \approx 2$. С увеличением доли кислотных оксидов в золе торфа температура начала шлакования увеличивается и достигает максимального значения

$T_{\text{шл}}=1291$ К для образца Дымного месторождения. Экспериментально измеренные температуры плавкости также определяются отношением К/О в исходной золе торфа. Зола торфа Пищальского, Каринского и Гороховского месторождений можно считать среднеплавкой по температуре деформации, а зола Дымного месторождения находится на границе между средне- и тугоплавкой золой. Основываясь на температуре растекания, Пищальское и Каринское месторождения представляют торф, имеющей легкоплавкую золу, а Гороховское и Дымное – среднеплавкую.

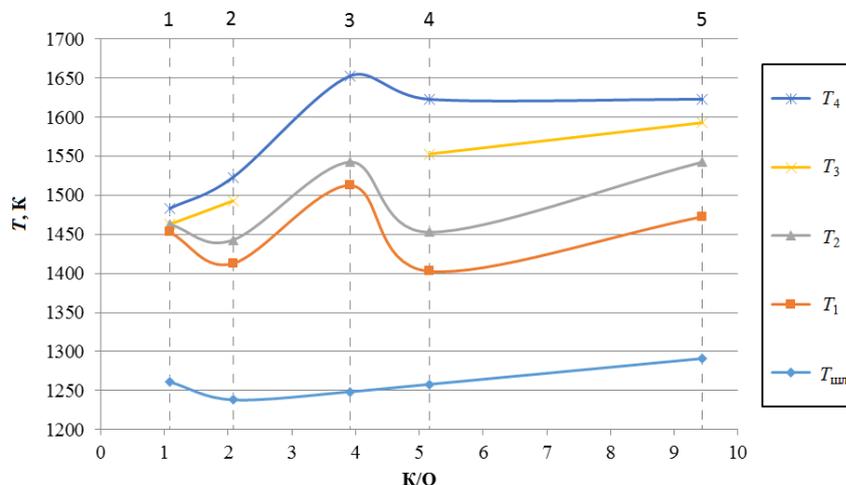


Рис. Плавкость золы торфа и температура начала шлакования в зависимости от соотношения кислотных и основных оксидов в золе торфа: 1 – Каринский; 2 – Пищальский; 3 – Справочник [11]; 4 – Гороховский; 5 – Дымный

Обсуждение результатов

Фиксируемые точки температур плавкости по данной методике значительно выше тех, при которых появляется жидкая фаза и начинается шлакование [9]. Уже первая фиксируемая температура T_1 на 145–192 К выше температуры начала шлакования $T_{\text{шл}}$. По физико-химическому смыслу температура $T_{\text{шл}}$ соответствует температуре ликвидуса (устойчивости) сульфидно-силикатного расплава, образующегося при нагревании образцов. Склеивающая жидкая фаза объясняет закрепление (налипание) частиц при формировании шлаковых отложений с химическим составом золы, близким к золе исходного топлива [12].

Справочные значения по температурам деформации и сферы, а также температуре растекания резко выбиваются из общей экспериментально зависимости. Это может зависеть от использования другой методики проведения испытаний и от газовой среды, в которой проводится нагревание золы. Разность между температурами плавкости золы в окислительной и восстановительной средах может составлять в среднем 70 – 90 К. Это связано с поведением соединений железа: в восстановительной среде образуются легкоплавкие эвтектики закисных форм железа (FeO) с алюмосиликатами, а в окислительной – тугоплавкий оксид железа Fe_2O_3 .

Заключение

Проведенное сравнение плавкостных характеристик золы торфа со справочными литературными данными показало, что усредненные литературные данные не позволяют использовать их для организации процесса сжигания торфа, обеспечивающего наименьшее шлакование топki. Меняющиеся характеристики поступающего торфа, а соответственно химический состав и плавкостные характеристики золы, определяют температурные

условия начала формирования шлаковых отложений и необходимые режимы сжигания топлива.

Литература

1. Попов В.М., Шабаров А.М., Гущин А.И. Энергетическое использование фрезерного торфа. М.: Энергия, 1974. 303 с.
2. Fagerström J. Influence of peat Ash composition on particle emissions and slag formation in biomass grate co-combustion // *Energy Fuels*. 2014. Vol. 28(5). P. 3403–3411. <https://doi.org/10.1021/ef4023543>.
3. Heikkinen R. Slagging tendency of peat ash // *Fuel Processing Technology*. 1998. Vol. 56. P. 69–80.
4. Справочник потребителя биотоплива / Виллу Варес, Юло Касък, Пеэтер Муйсте и др./ под ред. Виллу Вареса. Таллин: Изд-во Таллинского технического университета, 2005. 183 с.
5. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. М.: Энергия, 1976. 488 с.
6. Базин Е.Т. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 431 с.
7. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
8. Алехнович А.Н., Артемьева Н.В. Некоторые проблемы и первоочередные задачи математического моделирования шлакования топки // Горение твердого топлива: материалы Всерос. VIII конф. с междунар. участием, 13–16 ноября 2012 г., Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, 2012. 4.1 – 4.8.
9. Алехнович А.Н. Шлакование пылеугольных энергетических котлов. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2013. 112 с.
10. Алехнович А.Н., Богомоллов В.В., Гладков В.Е., Артемьева Н.В. Шлакование и образование отложений в газовом тракте котла // *Теплоэнергетика*. 1997. №3. С. 64–68.
11. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): Справочник / И.И. Матвеева, Н.В. Новицкий, В.С. Вдовченко, и др. Москва: Энергия, 1979. 128 с.
12. Гладков В.Е., Афлятунов Ж.З., Викторов В.В. Температурные условия начала формирования шлаковых отложений при их факельном сжигании // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия»*. 2006. №7. С. 227–232.

Авторы публикации

Кузьмин Владимир Алексеевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Инженерная физика» Вятского государственного университета.

Заграй Ираида Александровна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерная физика» Вятского государственного университета.

Десятков Иван Андреевич – аспирант Вятского государственного университета.

References

1. V.M. Popov, A.M. Shabarov, A.I. Gushchin, Energy use of milled peat, *Energiya*, Moscow, 1974, 303 p. (in Russian)
2. J. Fagerström, Influence of peat Ash composition on particle emissions and slag formation in biomass grate co-combustion, *Energy Fuels*, 2014, Vol. 28(5), P. 3403–3411. <https://doi.org/10.1021/ef4023543>.
3. R. Heikkinen, Slagging tendency of peat ash, *Fuel Processing Technology*, 1988, Vol. 56, P. 69–80.

4. Villa Vares, Yulo Kask, Peeter Muiste et al., Biofuel consumer handbook, Tallinn University of technology, Tallin, 2005. 183 p. (in Russian)
5. D.M. Khzmalyan, Y.A. Kagan, Combustion theory and furnace devices, Energiya, Moscow, 1976, 488 p. (in Russian)
6. E.T. Bazin, Technical analysis of peat, Nedra, Moscow, 1992, 431 p. (in Russian)
7. I.I. Lishtvan, N.T.Korol', Basic peat properties and methods of their determination, Nauka i tehnika, Minsk, 1975, 320 p. (in Russian)
8. A.N. Alekhnovich, N.V. Artem'eva, Some problems and priority tasks of mathematical modeling of furnace slagging, Solid fuel combustion: materials of the VIII all-Russian conference with Intern. participation, 13-16 November 2012, Institute of Thermophysics (IT SB RAS), Novosibirsk, 2012. 4.1–4.8. (in Russian)
9. A.N. Alekhnovich, Slagging of pulverized coal-fired power boilers, NTF Energoprogress, Moscow, 2013. 112 p. (in Russian)
10. A.N. Alekhnovich, V.V. Bogomolov, V.E. Gladkov, N.V. Artem'eva, Slagging and deposit formation in the gas path of a boiler, Thermal Engineering, 1997, Vol. 44, No. 3, P. 239-243.
11. Energy fuel of the USSR (fossil coals, oil shale, peat, fuel oil and combustible natural gas): Directory, I.I. Matveeva, N.V. Novitsky, V.S. Vdovchenko, et al. Energiya, Moscow, 1979, 128 p. (in Russian)
12. V.E. Gladkov, Zh.Z. Aflyatunov, V.V. Viktorov, Temperature conditions of the beginning of formation of slag deposits at their flaring, Bulletin of SUSU, Series "Mathematics, physics, chemistry", 2006, No. 7, P. 227-232. (in Russian)

Authors of the publication

Vladimir A. Kuzmin –Grand PhD in Engineering sciences, Professor Vyatka state University, Kirov, Russia.

Iraida A. Zagrai– PhD in Engineering sciences, Associate Professor Vyatka state University, Kirov, Russia.

Ivan A.Desiatkov– PhD student Vyatka state University, Kirov, Russia. E-mail: ivan109292@gmail.com.

Поступила в редакцию

18 июня 2018 г.