

Конечной целью всех усилий должна быть реализация такой технологии, которая с достаточной надежностью или минимальным риском обеспечит выполнение нормативных и назначаемых по условиям строительства требований к бетонной смеси и бетону.

Литература

- 1 Стефанишин Д.В., Шульман С.Г. Проблемы надежности гидротехнических сооружений Стефанишин, С.Г. Шульман. СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991. 51 с.
- 2 Сольский С.В., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2006.- 300 с.
- 3 Садович М.А. Гершанович Г.Л. О бетонах на несортированную песчано-гравийной смеси (по опыту строительства ГЭС Ангарского каскада) // Энергетическое строительство. 1985. № 10. С.50-54.
- 4 Садович М.А. Северные бетонные плотины. Технология бетона и бетонных работ. Стойкость в процессе эксплуатации. Некоторые

аспекты надежности. Братск: изд-во. Братского государственного университета, 2011. С.339.

Литература

- 1 Стефанишин Д.В. Проблемы надежности гидротехнических сооружений / Д.В. Стефанишин, С.Г. Шульман.- СПб.: ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева, 1991.- 51 с.
- 2 Сольский С.В. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов / С.В. Сольский, Д.В. Стефанишин, О.М. Финагенов, С.Г. Шульман.- СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2006.- 300 с.
- 3 Садович М.А. О бетонах на несортированную песчано-гравийной смеси (по опыту строительства ГЭС Ангарского каскада) / М.А. Садович, Г.Л. Гершанович // Энергетическое строительство.- 1985.- № 10.- С.50-54.
4. Садович М.А. Северные бетонные плотины. Технология бетона и бетонных работ. Стойкость в процессе эксплуатации. Некоторые аспекты надежности. Братск, изд. Братского государственного университета, 2011, стр.339

УДК 662.6

Математическое моделирование состава твердых топлив на энергетическую эффективность котлов

С.А. Семенов¹, Д.Ю. Куриганов¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: energosave@mail.ru
Статья поступила 15.10.2012 принята 20.11.2012

С целью экономии затрат на топливо теплоисточники вынуждены переходить на непроектные, менее качественные марки углей. В статье рассмотрены вопросы прогнозирования энергетических показателей паровых котлов при сжигании непроектных топлив. Предложена математическая модель, включающая блоки расчета теплофизических свойств теплоносителей и теплового расчета котлов. С применением пакета MathCAD получены аппроксимационные зависимости термодинамических параметров дымовых газов от температуры. При помощи встроенного в MS Excel языка программирования Visual Basic for Applications разработана программа теплового расчета паровых котлов, работающих на различных углях и их смесях. Влияние состава топлива на КПД котла рассматривалось путем поочередного перебора значений элементарного состава углей. Возможности перевода теплоисточников на непроектные виды топлива исследовались на примере парового котла БКЗ-75-39 ФБ при сжигании бурых углей трех месторождений: Ирбейского, Перяславского и Канского. Результаты расчетов показали, что в зависимости от доли каждого из трех исследуемых углей в топливной смеси значения КПД котла могут меняться в пределах 90,58 – 90,91 %. Получены целесообразные соотношения углей в топливной смеси.

Ключевые слова: математическая модель, твердое топливо, топливная смесь, сжигание углей, паровой котел, энергетическая эффективность.

Mathematical modeling of solid fuel composition influence on boilers energy efficiency

S.A. Semenov¹, D.Yu. Kuriganov¹

¹Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: energosave@mail.ru
The article received 15.10.2012, accepted 20.11.2012

To reduce the fuel costs, the heat sources are forced to switch to non-standard, lower quality coal ranks. This article analyzes the issues of forecasting the steam boilers energy indicators when non-standard fuels are combusted. We have offered a mathematical model that includes the blocks to calculate the coolant thermo-physical properties and boilers thermal design. The approximating dependences of flue gas thermodynamic parameters on temperature have been obtained using the MathCAD package. By means of the Visual Basic for Applications programming language built in MS Excel, the program for thermal calculation of coal-and blend-fired steam boilers has been developed. The fuel composition influence on boiler efficiency was studied by alternate enumeration of coal elementary composition values. The possibilities of heat source switch to non-standard fuel types were investigated on the example of the BKZ-75-39 FB steam boiler when combusting brown coals from three fields: Irbeysky, Peryaslavsky and Kansky. The calculations results have shown

that depending on the share of each of three studied coals in the fuel blend, the boiler efficiency values may vary within the range of 90.58-90.91%. The reasonable fuel blend coal ratios have been obtained.

Keywords: mathematical model, solid fuel, fuel blend, coal combustion, steam boiler, energy efficiency.

В последнее время в районах с преобладающим потреблением твердого топлива у теплоисточников (ТИ) возникает ряд серьезных проблем, вызванных снижением качества и высокой стоимостью проектных видов углей, что вызывает необходимость полного или частичного замещения их непроектными, менее качественными марками топлив [1].

Как показывают опытные данные, с увеличением доли непроектного топлива в смеси изменяются эксплуатационные показатели котельных агрегатов: возрастает расход углей, часто уменьшается сушильная и размольная производительности пылеприготовительных систем, снижается надежность работы за счет повышенной степени шлакования поверхностей нагрева, ухудшаются экологические характеристики, увеличивается расход электроэнергии на собственные нужды и др.

Таким образом, ухудшение качества поставляемого на ТИ топлива проявляется в той или иной степени на всех этапах его использования и, в конечном счете, вызывает неэффективное увеличение расхода углей.

Для прогнозирования показателей котлоагрегатов, работающих на непроектных видах топлива, требуется исследовать влияние их элементарного состава на энергетическую эффективность. С этой целью авторами разработана математическая модель, включающая блоки расчета теплофизических свойств дымовых газов и теплового расчета котлоагрегатов.

Важным этапом при разработке и использовании математических моделей котлов является задание теплофизических характеристик теплоносителей. При этом необходимо учитывать, что исходные точки могут быть заданы с определенной погрешностью, поэтому в данном случае целесообразно применить метод аппроксимации. Выбор аппроксимирующей функции во многом определяется физикой описываемого процесса. Если известен вид функции, то задача сводится к отысканию коэффициентов, входящих в функцию. В данном случае применяем аппроксимацию методом наименьших квадратов.

Зададим функцию, описывающую процессы:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2, \quad (1)$$

$$\frac{d}{da_0} = (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) \rightarrow 1, \quad (2)$$

$$\frac{d}{da_1} = (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) \rightarrow x, \quad (3)$$

$$\frac{d}{da_2} = (a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2) \rightarrow x^2 \quad (4)$$

Для нахождения коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 используем функцию:

$$genfit(vx, vy, vg, F),$$

Данная функция определяет вектор параметров, которые преобразовывают первую функцию в векторе F методом наилучшего приближения в векторах vx и vy . Остающиеся элементы в F - частные производные функции приспособления относительно ее n параметров, и vg - вектор оценок.

Результатом функции *genfit* является матрица коэффициентов аппроксимирующего полинома.

Данный метод использован для получения квадратичных зависимостей теплофизических свойств дымовых газов: энтальпий 1 м^3 углекислого газа $((C\vartheta)_{CO_2}, \text{ кДж/м}^3)$, азота $((C\vartheta)_{N_2}, \text{ кДж/м}^3)$, водяных паров $((C\vartheta)_{H_2O}, \text{ кДж/м}^3)$, влажного воздуха $((C\vartheta)_g, \text{ кДж/м}^3)$ и 1 кг золы $((C\vartheta)_{zl}, \text{ кДж/кг})$ от температуры газов $(\vartheta, \text{ }^\circ\text{C})$ [2]:

$$(C\vartheta)_{CO_2} = 1,411 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 2,183 \cdot \vartheta - 103,054, \quad (5)$$

$$(C\vartheta)_{N_2} = 6,847 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta^2 + 1,353 \cdot \vartheta - 19,585 \quad (6)$$

$$(C\vartheta)_{H_2O} = 2,079 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 1,554 \cdot \vartheta - 27,145, \quad (7)$$

$$(C\vartheta)_g = 7,419 \cdot 10^{-5} \cdot \vartheta^2 + 1,393 \cdot \vartheta - 23,271, \quad (8)$$

$$(C\vartheta)_{zl} = 2,888 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 + 0,685 \cdot \vartheta + 26,710. \quad (9)$$

Зависимость энтальпий продуктов сгорания от температуры представлена на рис. 1.

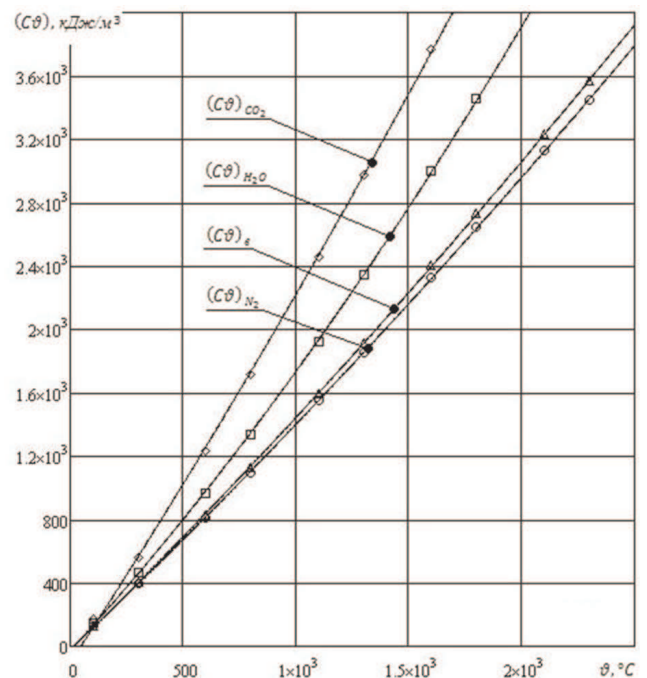


Рис. 1. Зависимость энтальпий продуктов сгорания от температуры.

	A	B	C	D	E	F
1	Исходные данные					
2	W_P	Содержание влаги в топливе			%	31,00
3	A_P	Содержание золы в топливе			%	11,00
4	S_P	Содержание серы в топливе			%	0,50
5	C_P	Содержание углерода в топливе			%	32,40
6	H_P	Содержание водорода в топливе			%	5,10
7	N_P	Содержание азота в топливе			%	1,00
8	O_P	Содержание кислорода в топливе			%	19,00
9	f	нагрузка котла			-	1,00
10	a_{ух}	коэффициент избытка воздуха в ух.газах			-	1,45
11	T_{ух}	температура уходящих газов			⁰ C	145,70
12	t_{хв}	температура холодного воздуха			⁰ C	24,00
13	a_{ун}	доля золы топлива в уносе			-	0,95
14	a_{шл}	доля золы топлива в шлаке			-	0,05
15						
16	Тепловой расчет					
17	η	КПД котла			%	90,91
18	q₂	потери с уходящими газами			%	8,07
19	q₃	потери от химической неполноты сгорания			%	0,00
20	q₄	потери от механической неполноты сгорания			%	0,21
21	q₅	потери от наружного охлаждения			%	0,80
22	q₆	потери от золы			%	0,01
23	I_{ух}	энтальпия дымовых газов			кДж/кг	1145,02
24	I_{зп}	энтальпия золы			кДж/кг	13,86
25	I_{хв}	энтальпия холодного воздуха			кДж/кг	49,84
26	V⁰_{RO₂}	объеи трехатомных газов			м ³ /кг	0,61
27	V⁰_{N₂}	теоретический объем азота			м ³ /кг	2,86
28	V⁰_{H₂O}	теоретический объем водяных паров			м ³ /кг	1,01
29	V⁰	теоретический объем сухого воздуха			м ³ /кг	3,62
30	(CV)_{CO₂}	энтальпия CO ₂ на 1 м ³			кДж/м ³	218,01
31	(CV)_{N₂}	энтальпия N ₂ на 1 м ³			кДж/м ³	179,01
32	(CV)_{H₂O}	энтальпия H ₂ O на 1 м ³			кДж/м ³	203,69
33	(CV)_в	энтальпия воздуха на 1 м ³			кДж/м ³	181,27
34	(CV)_{зп}	энтальпия золы на 1 кг			кДж/кг	132,65
35	Q_{P/H}	низшая рабочая теплота сгорания			кДж/кг	13439,43

Рис. 2. Исходные данные и результаты расчета одного варианта.

Для определения энергетической эффективности паровых котлов, работающих на различных углях и их смесях, на основе нормативного метода [3] разработана программа их теплового расчета с использованием MS Excel.

Преимуществом MS Excel является то, что программа позволяет оперировать большими объемами информации. Рабочие книги MS Excel предоставляют возможность хранения и организации данных, вычисление значений в ячейках и программирование с помощью макросов.

При помощи встроенного в MS Excel языка программирования Visual Basic for Applications составим макрос перебора значений состава топлива:

```
Sub РасчетКПД()
'
Sheets("КПД").Range("A8:ZZ110").ClearContents
For c = 0 To 100
For b = 0 To 100 - c
Sheets("КПД").Range("A8").Offset(b, c * 4) = b
Sheets("КПД").Range("B8").Offset(b, c * 4) = 100 - b - c
Sheets("КПД").Range("C8").Offset(b, c * 4) = c

For a = 0 To 6
Sheets("Расчет").Range("A2").Offset(0, a) = _
```

```
b * Sheets("КПД").Range("A3").Offset(0, a) / 100 + _
(100 - b - c) * Sheets("КПД").Range("A4").Offset(0, a) / 100 + _
c * Sheets("КПД").Range("A5").Offset(0, a) / 100
Next a
```

```
Sheets("КПД").Range("D8").Offset(b, c * 4) =
Sheets("Расчет").Range("H2")
```

```
Next b
Next c
```

```
For b = 0 To 110
For a = 0 To 110
If Sheets("КПД").Range("D8").Offset(a, b * 4) =
Sheets("КПД").Range("J2") Then
Sheets("КПД").Range("J3") =
Sheets("КПД").Range("D8").Offset(a, b * 4 - 3)
Sheets("КПД").Range("J4") =
Sheets("КПД").Range("D8").Offset(a, b * 4 - 2)
Sheets("КПД").Range("J5") =
Sheets("КПД").Range("D8").Offset(a, b * 4 - 1)
End If
Next a
Next b
```


End Sub

В данной программе в ячейках содержатся следующие данные:

1. *A2, B2, C2, D2, E2, F2, G2* - элементарный состав исходного топлива;
2. *F11-32* - исходные характеристики котла;
3. *H2* - значения КПД котла при заданном составе топлива.

Возможности разработанной авторами математической модели рассмотрим на примере парового котла

БКЗ-75-39 ФБ, установленного на районной Галачинской котельной филиала ОАО «Иркутскэнерго» (г. Братск).

Проектным топливом является ирша-бородинский уголь Канско-Ачинского бассейна, имеющий следующий состав: влага $W=33\%$, зола $A=6\%$, сера (горючая и негорючая) $S=0,55\%$, углерод $C=43,15\%$, водород $H=3,08\%$, азот $N=0,62\%$, кислород $O=13,6\%$ [4]. Влияние состава проектного топлива на КПД данного котла при номинальной нагрузке рассматривалось ранее авторами путем поочередного перебора значений W, A, S, C, H, N, O [5].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	W	A	S	C	H	N	O	η	Результат КПД				
2	31,00	11,00	0,50	32,40	5,10	1,00	19,00	90,91	90,91				
3	38,90	14,30	0,40	30,20	2,20	0,60	13,40		0	Ирбейский			
4	31,00	11,00	0,50	32,40	5,10	1,00	19,00		100	Перяславский			
5	34,50	6,00	0,60	33,50	5,00	0,90	19,50		0	Канский			
6													
7				90,91				90,91				90,91	
8	0,00	100,00	0,00	90,91	0,00	99,00	1,00	90,91	0,00	98,00	2,00	90,91	0,00
9	1,00	99,00	0,00	90,91	1,00	98,00	1,00	90,91	1,00	97,00	2,00	90,91	1,00
10	2,00	98,00	0,00	90,91	2,00	97,00	1,00	90,90	2,00	96,00	2,00	90,90	2,00
11	3,00	97,00	0,00	90,90	3,00	96,00	1,00	90,90	3,00	95,00	2,00	90,90	3,00
12	4,00	96,00	0,00	90,90	4,00	95,00	1,00	90,90	4,00	94,00	2,00	90,90	4,00
13	5,00	95,00	0,00	90,90	5,00	94,00	1,00	90,90	5,00	93,00	2,00	90,90	5,00
14	6,00	94,00	0,00	90,89	6,00	93,00	1,00	90,89	6,00	92,00	2,00	90,89	6,00
15	7,00	93,00	0,00	90,89	7,00	92,00	1,00	90,89	7,00	91,00	2,00	90,89	7,00
16	8,00	92,00	0,00	90,89	8,00	91,00	1,00	90,89	8,00	90,00	2,00	90,89	8,00
17	9,00	91,00	0,00	90,89	9,00	90,00	1,00	90,89	9,00	89,00	2,00	90,89	9,00
18	10,00	90,00	0,00	90,88	10,00	89,00	1,00	90,88	10,00	88,00	2,00	90,88	10,00
19	11,00	89,00	0,00	90,88	11,00	88,00	1,00	90,88	11,00	87,00	2,00	90,88	11,00
20	12,00	88,00	0,00	90,88	12,00	87,00	1,00	90,88	12,00	86,00	2,00	90,88	12,00
21	13,00	87,00	0,00	90,88	13,00	86,00	1,00	90,88	13,00	85,00	2,00	90,88	13,00
22	14,00	86,00	0,00	90,87	14,00	85,00	1,00	90,87	14,00	84,00	2,00	90,87	14,00
23	15,00	85,00	0,00	90,87	15,00	84,00	1,00	90,87	15,00	83,00	2,00	90,87	15,00
24	16,00	84,00	0,00	90,87	16,00	83,00	1,00	90,87	16,00	82,00	2,00	90,87	16,00
25	17,00	83,00	0,00	90,87	17,00	82,00	1,00	90,87	17,00	81,00	2,00	90,87	17,00
26	18,00	82,00	0,00	90,86	18,00	81,00	1,00	90,86	18,00	80,00	2,00	90,86	18,00
27	19,00	81,00	0,00	90,86	19,00	80,00	1,00	90,86	19,00	79,00	2,00	90,86	19,00
28	20,00	80,00	0,00	90,86	20,00	79,00	1,00	90,86	20,00	78,00	2,00	90,86	20,00
29	21,00	79,00	0,00	90,85	21,00	78,00	1,00	90,85	21,00	77,00	2,00	90,85	21,00
30	22,00	78,00	0,00	90,85	22,00	77,00	1,00	90,85	22,00	76,00	2,00	90,85	22,00
31	23,00	77,00	0,00	90,85	23,00	76,00	1,00	90,85	23,00	75,00	2,00	90,85	23,00
32	24,00	76,00	0,00	90,85	24,00	75,00	1,00	90,85	24,00	74,00	2,00	90,85	24,00
33	25,00	75,00	0,00	90,84	25,00	74,00	1,00	90,84	25,00	73,00	2,00	90,84	25,00
34	26,00	74,00	0,00	90,84	26,00	73,00	1,00	90,84	26,00	72,00	2,00	90,84	26,00
35	27,00	73,00	0,00	90,84	27,00	72,00	1,00	90,84	27,00	71,00	2,00	90,84	27,00
36	28,00	72,00	0,00	90,83	28,00	71,00	1,00	90,83	28,00	70,00	2,00	90,83	28,00
37	29,00	71,00	0,00	90,83	29,00	70,00	1,00	90,83	29,00	69,00	2,00	90,83	29,00
38	30,00	70,00	0,00	90,83	30,00	69,00	1,00	90,83	30,00	68,00	2,00	90,83	30,00
39	31,00	69,00	0,00	90,83	31,00	68,00	1,00	90,83	31,00	67,00	2,00	90,83	31,00
40	32,00	68,00	0,00	90,82	32,00	67,00	1,00	90,82	32,00	66,00	2,00	90,82	32,00
41	33,00	67,00	0,00	90,82	33,00	66,00	1,00	90,82	33,00	65,00	2,00	90,82	33,00
42	34,00	66,00	0,00	90,82	34,00	65,00	1,00	90,82	34,00	64,00	2,00	90,82	34,00
43	35,00	65,00	0,00	90,81	35,00	64,00	1,00	90,81	35,00	63,00	2,00	90,81	35,00
44	36,00	64,00	0,00	90,81	36,00	63,00	1,00	90,81	36,00	62,00	2,00	90,81	36,00
45	37,00	63,00	0,00	90,81	37,00	62,00	1,00	90,81	37,00	61,00	2,00	90,81	37,00
46	38,00	62,00	0,00	90,81	38,00	61,00	1,00	90,81	38,00	60,00	2,00	90,80	38,00
47	39,00	61,00	0,00	90,80	39,00	60,00	1,00	90,80	39,00	59,00	2,00	90,80	39,00
48	40,00	60,00	0,00	90,80	40,00	59,00	1,00	90,80	40,00	58,00	2,00	90,80	40,00
49	41,00	59,00	0,00	90,80	41,00	58,00	1,00	90,80	41,00	57,00	2,00	90,80	41,00
50	42,00	58,00	0,00	90,79	42,00	57,00	1,00	90,79	42,00	56,00	2,00	90,79	42,00
51	43,00	57,00	0,00	90,79	43,00	56,00	1,00	90,79	43,00	55,00	2,00	90,79	43,00
52	44,00	56,00	0,00	90,79	44,00	55,00	1,00	90,79	44,00	54,00	2,00	90,79	44,00
53	45,00	55,00	0,00	90,78	45,00	54,00	1,00	90,78	45,00	53,00	2,00	90,78	45,00
54	46,00	54,00	0,00	90,78	46,00	53,00	1,00	90,78	46,00	52,00	2,00	90,78	46,00
55	47,00	53,00	0,00	90,78	47,00	52,00	1,00	90,78	47,00	51,00	2,00	90,78	47,00

Рис. 3. Вывод результатов расчета.

Возможности перевода котлов на непроектные виды топлива исследовались на примере бурых углей трех месторождений: Ирбейского, Перяславского и Канского. Их характеристики приведены в табл. 2. В расчетах предусмотрено определение КПД котла при переборе каждого вида топлива в смеси от 0 до 100 %. Исходные данные и результаты расчета одного из вариантов представлены на рис 2, а фрагмент вывода расчетных данных - на рис. 3.

Таблица 2

Характеристики непроектных углей

Характеристика	Ирбейский уголь	Перяславский уголь	Канский уголь
$W^P, \%$	38,90	31,00	34,50
$A^P, \%$	14,30	11,00	6,00
$S^P, \%$	0,40	0,50	0,60
$C^P, \%$	30,20	32,40	33,50
$H^P, \%$	2,20	5,10	5,00
$N^P, \%$	0,60	1,00	0,90
$O^P, \%$	13,40	19,00	19,50
Всего, %	100,00	100,00	100,00

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

- в зависимости от доли каждого из трех исследуемых углей в топливной смеси значения КПД котла могут меняться в пределах 90,58 – 90,91 %;
- при 100% содержании перяславского бурого угля может быть достигнуто максимальное значение энергоэффективности котла (КПД равен 90,91 %);
- добавление ирбейского (более 2 %) и канского (более 26 %) углей в топливную смесь приводит к снижению КПД котла, поэтому возможно подмешивание ирбейского (до 2 %) и канского углей (до 26%) в топливную смесь, когда значения КПД будут близки к максимальному – 90,88 %);
- при 100% содержании ирбейского бурого угля будет достигнуто минимальное значение энергоэффективности котла БКЗ-75-39 ФБ.

Следует отметить, что для корректного выбора состава сжигаемых топлив необходим учет экологических и, особенно, стоимостных показателей. С этой целью авторами разрабатываются соответствующие блоки программы.

Таким образом, разработанная математическая модель может использоваться для анализа влияния элементарного состава углей на энергетическую эффективность котельных агрегатов, что позволит выбирать оптимальный состав смеси твердых топлив для конкретных ТИ

Литература

1. Семенов С.А. Развитие коммунальных теплоэнергетических технологий в районах с преобладающим твердым топливом. Новосибирск: Наука, 2005. 347 с.
2. Куриганов Д.Ю., Семенов С.А. Применение пакета MathCAD при обработке теплофизических свойств твердого топлива // Тр. Брат. гос. ун-та: Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2012. Т. 2. С. 82-84.
3. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). НПО ЦКТИ, СПб., 1998.
4. Справочник по котельным установкам малой производительности / под ред. К.Ф. Роддатиса. М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Куриганов Д.Ю., Семенов С.А. Расчет зависимости КПД котла БКЗ-75-39 от химического состава твердого топлива // Тр. Брат. гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2012. Т. 2. С.84-87.

References

6. S.A. Semenov, Development of Utility Heat and Power Technologies in the Areas with Prevailing Solid Fuel / S.A. Semenov – Novosibirsk: Nauka, 2005. – 347 p.
7. D.Y. Kuriganov, Application of MathCAD Package for Processing of Solid Fuel Thermophysical Properties / D.Y. Kuriganov, S.A. Semenov // Works of Bratsk State University: Ser.: Natural and Engineering Sciences for Development of Siberia Regions: 2 volumes – Bratsk: BrSU Publishing House, 2012. – V. 2. – Pp. 82-84.
8. Thermal Calculation of Boilers (Normative Method) – NPO CKTI, St. Petersburg, 1998.
9. Low-Capacity Boiler Handbook / Edited by K.F. Roddatis. – M: Energoatomizdat, 1989.
10. D.Y. Kuriganov, Calculation of BKZ-75-39 Boiler Efficiency Dependence on Solid Fuel Chemical Composition / D.Y. Kuriganov, S.A. Semenov // Works of Bratsk State University: Ser.: Natural and Engineering Sciences for Development of Siberia Regions: 2 volumes – Bratsk: BrSU Publishing House, 2012. – V. 2. – Pp. 84-87.