

УДК 66.041.45

ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ОТ ФАКЕЛА В КОТЛАХ С РАЗЛИЧНОЙ КОМПОНОВКОЙ ГОРЕЛОК

Е.А. Салтанаева, М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин,
Аль Зубайди Али Талиб Салих

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: В статье приведены результаты экспериментального исследования режимных параметров работы энергетических котлов ТЭС БКЗ-320-13,8 и ТГМ-84Б при сжигании газа и при сжигании мазута. Приведены значения тепловых потоков от факела в топках котлов. Рассмотрена эффективность восходящей крутки факела в топке котлов.

Ключевые слова: сжигание, мазут, топка, котел, КПД, теплота сгорания, температура, избыток воздуха, тепловые потоки, режимы.

THERMAL FLOWS FROM THE TORCH IN BOILERS WITH A DIFFERENT BURNER BURNER

М.А. Taumarov, E.A. Saltanaeva, R.V. Akhmetova, R.G. Sungatullin,
Al-Zubaidi Ali Talib Saleh

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Abstract: The article presents the results of an experimental study of regime parameters of energy TPP boiler BKZ-320-13,8 TGM-84B and the combustion gas and while burning fuel oil. The values of heat flow from the torch in boiler furnaces the efficiency of the upward twist of the torch in the furnace of the boilers.

Keywords: burning, fuel oil, furnace, boiler efficiency, heat of combustion, temperature, excess air, heat flows, modes.

Введение

На котлах ТЭС для повышения КПД применяются различные схемы сжигания топлив в зависимости от их состава, влажности, теплоты сгорания, агрегатного состояния [1–5]. При этом в схемах используется изменение крутки воздуха, повышение температуры воздуха, подаваемого на горение, изменение давления сжигаемого природного газа и мазута по ярусам горелок, изменение давления распыливающего пара. В качестве способа для повышения КПД при сжигании высоко обводненного мазута применяется смешанное сжигание мазута с природным газом. В связи с тенденцией применения на котлах ТЭС в качестве топлива метановодородной смеси, являющейся побочным продуктом глубокой переработки нефти на НПЗ, актуальным является тема исследования сжигания такой смеси в топках этих котлов. Все эти вопросы рассматриваются в данной статье.

Объекты и методика исследования

Эксперименты проведены на паровых котлах БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 и ТГМ-84Б (станционный № 10) на Казанской ТЭЦ-1 [6; 7]. Котел БКЗ-320-13,8 однобаранный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией,

газоплотный, с мембранными экранами. Основное топливо – газ, резервное – кузнецкий уголь с твердым шлакоудалением. В верхней части топки расположен ширмовый пароперегреватель. Во втором (горизонтальном) газоходе расположены ступени экономайзера и трубчатого воздухоподогревателя, установленные «в рассечку». Объем топки 995 м³, водяной объем 88 м³, паровой объем 30 м³. Топка имеет 8 прямооточных пылегазовых горелок мощностью по 35 МВт, 4 сбросных сопла и 6 сопел нижнего дутья. Горелки расположены на боковых стенках топки котла БКЗ-320-13,8 таким образом, чтобы при сжигании топлива в центре топки образовывалось восходящее кверху ядро факела диаметром 1,5 м (рис. 1).

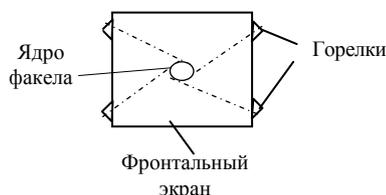


Рис. 1. Поперечное сечение топки котла БКЗ-320-13,8 на уровне горелок с расположением ядра факела

Подача пыли в горелки осуществляется системой пневмотранспорта угольной пыли высокой концентрации под давлением. Для сжигания газа в горелке установлен газовый коллектор, оборудованный шестью газораздающими трубами, заведенными в канал вторичного воздуха. Отработавший сушильный агент подается в топку выше зоны активного горения через 4 прямооточных сбросных сопла. Сопло аэросмеси расположено в воздушном канале, в который подается горячий воздух, необходимый для охлаждения сопла аэросмеси при отсутствии подачи на него сушильного агента. Для снижения выбросов оксидов азота предусмотрена подача горячего воздуха в холодную воронку через 6 сопел нижнего дутья. Для снижения концентрации оксидов азота, снижения максимальных локальных тепловых потоков в топке и регулирования температуры пара при работе на газе предусмотрена рециркуляция дымовых газов, забираемых перед дымососами и направляемых при помощи дымососов рециркуляции газов ДН-15БГМ к смесителям, установленным в воздушном трубопроводе перед горелками. Радиационная ступень пароперегревателя выполнена в виде панелей, экранирующих верхнюю часть фронтальной стены и потолок топки. Полурадиационная часть выполнена в виде ширмовых пароперегревателей, расположенных на выходе из топки. Конвективная часть состоит из первой, третьей, четвертой ступеней, расположенных в горизонтальном газоходе. Котел оборудован 2 дутьевыми вентиляторами типа ВД-20. Регулирование производительности осуществляется направляющим аппаратом осевого типа. Для удаления дымовых газов установлено 2 дымососа типа ДН-22Х2Ф. Регулирование производительности осуществляется направляющим аппаратом осевого типа. Для обеспечения требуемой температуры воздуха на входе в первую ступень воздухоподогревателя подогрев воздуха осуществляется рециркуляцией части горячего воздуха на всасывание дутьевого вентилятора. Очистка дымовых газов от золы осуществляется при помощи мокрого золоуловителя МВ-ИРО.

Котел ТГМ-84Б имеет П-образную компоновку. В топке расположены экраны, радиационный настенный и потолочный пароперегреватели. В горизонтальном газоходе размещен ширмовый пароперегреватель. В опусном газоходе расположен конвективный пароперегреватель и водяной экономайзер. В области водяного экономайзера канал опусного газохода разделен на два газохода. Топка имеет объем 1557 м³, в поперечном по высоте сечении представляет прямоугольник с размерами 6х17,7м. Полная радиационная поверхность топки $H_{\text{п}} = 1100 \text{ м}^2$. Боковые и задние стенки топочной камеры экранированы трубами $\varnothing 60 \times 6 \text{ мм}$ с шагом 64 мм. Температура питательной воды 230°C, температура

горячего воздуха при сжигании газа 238°C, а при сжигании мазута 268°C. Для регулирования температуры перегрева пара имеется 3 ступени впрыска собственного конденсата. Наклонные трубы защищены от излучения факела слоем огнеупора.

Методика исследования и оборудование подробно описаны в работах [8–10]. Измерения тепловых потоков от факела в топках котлов проводились при помощи радиометра ТЕРА-50. Температура факела в пристеночном слое измерялась с помощью двоянных хромель-алюмелевых термопар [5; 11]. Температура светящегося факела измерялась с помощью инфракрасного пирометра TESTO-835-T2 с погрешностью измерений $\pm 2,5^\circ\text{C}$ при 1500°C . Содержание кислорода измерялось в режимном сечении в рассечке водяного экономайзера при помощи прибора ДАГ-500 с погрешностью $\pm 0,2\%$. Температура уходящих газов измерялась в балансовом сечении после дымососа штатными приборами. Погрешность определения КПД составляла $\pm 3,5\%$.

Полученные результаты исследования и их обсуждение

При проведении экспериментов на котле БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 сжигался природный газ с теплотой сгорания $34508,8 \text{ кДж/м}^3$. Показатели работы котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 во время экспериментов приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, при сжигании газа имеется максимальное значение КПД, равное 94,33% при паровой нагрузке 220 т/ч. При максимальной нагрузке 320 т/ч КПД имеет наименьшее значение. Температура уходящих газов при нагрузке 320 т/ч составляет 142°C , что является очень высоким значением.

Таблица 1

Показатели работы котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 во время экспериментов при сжигании природного газа с теплотой сгорания $34508,8 \text{ кДж/м}^3$ при нагрузке 195 т/ч и расходе газа $14830 \text{ м}^3/\text{ч}$

Показатель	Паровая нагрузка Дк, т/ч					
	140	195	220	260	290	320
Температура пара до 1-го впрыска, °C	405/390	410/395	415/400	425/400	410/410	410/410
Температура пара за 1-м впрыском, °C	395/390	395/390	405/395	420/400	375/375	380/375
Температура пара до 2-го впрыска, °C	530/525	540/530	535/530	530/525	525/520	525/525
Температура пара за 2-м впрыском, °C	515/525	520/530	520/525	520/515	510/510	515/515
Температура перед горелками, °C	350	380	390	405	425	435
Давление воздуха перед горелками, кгс/м ²	15	20	35	45	85	100
Содержание O ₂ в режимном сечении, %	3,1	2,6	2,4	2,0	1,9	1,7
Избыток воздуха в режимном сечении	1,16	1,13	1,12	1,10	1,09	1,08
Температура уходящих газов, °C	119	122	125	132	139	142
Потери тепла с уходящими газами, %	4,85	4,91	4,96	5,14	5,40	5,55
Потери тепла в окружающую среду, %	1,02	0,87	0,71	0,60	0,54	0,49
Содержание NO _x при $\alpha = 1,4$	165	178	183	187	203	216
Удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	151,9	151,5	151,4	151,6	152,0	152,0
КПД котла brutto, %	94,03	94,22	94,33	94,26	94,06	93,96

На рис. 2 показаны значения тепловых потоков от факела, замеренные через смотровые лючки котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 при нагрузке 195 т/ч и расходе газа $14830 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Как видно из рис. 2, значения тепловых потоков имеют довольно высокие значения по всему топочному объему. Это связано с тем, что горение топлива происходит по высоте, а не по глубине топки на уровне горелок.

В табл. 2 приведены показатели работы котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при сжигании природного газа с теплотой сгорания $35367,8 \text{ кДж/м}^3$.

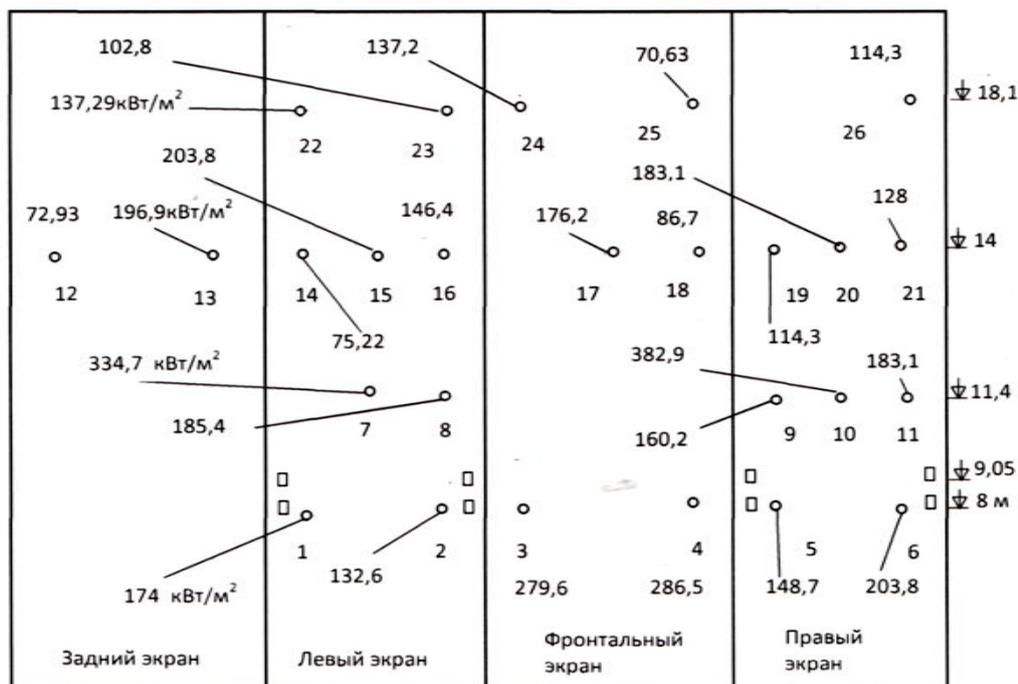


Рис. 2. Тепловые потоки от факела в топке котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 при нагрузке 195 т/ч и расходе газа 14830 м³/ч (содержание кислорода 2,7%, температура уходящих газов 110°C, коэффициент избытка воздуха α=1,13)

Таблица 2

Показатели работы котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при сжигании природного газа с низшей теплотой сгорания 35367,8 кДж/м³ при нагрузке 195 т/ч и расходе газа 14830 м³/ч

Показатель	Паровая нагрузка Дк, т/ч						
	195	220	260	300	340	380	420
Температура пара за 1 впрыском, °С	330/320	330/325	330/325	330/325	330/325	330/325	325/320
Температура пара за 2 впрыском, °С	380/360	380/370	370/365	360/360	355/345	345/345	340/340
Температура пара за 3 впрыском, °С	470/470	480/475	475/470	470/475	460/460	455/455	450/450
Расход газа, тыс.м ³ /ч	13,0	16,5	19,7	23,0	26,5	29,8	33,1
Давление газа перед горелками, кгс/см ²	0,18	0,24	0,3	0,2	0,25	0,3	0,35
Содержание O ₂ в режимном сечении, %	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7
Избыток воздуха в режимном сечении	1,1	1,095	1,095	1,090	1,084	1,079	1,079
Температура уходящих газов, °С	133	134	135	137	138	141	143
Потери тепла с уходящими газами, %	5,74	5,67	5,67	5,66	5,69	5,78	5,86
Потери тепла в окружающую среду, %	0,84	0,69	0,58	0,50	0,44	0,40	0,36
Удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	152,8	152,6	152,4	152,6	152,8	152,4	152,3
Содержание NO _x при α= 1,4	130	140	150	165	180	195	210
КПД котла брутто, %	93,42	93,64	93,75	93,83	93,87	93,82	93,78

Как видно из табл. 2, КПД котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 ниже по сравнению с данными для котла БКЗ-320-13,8 (станционный №7) на Казанской ТЭЦ-2. Температура продуктов сгорания в топке не

достаточна для получения перегретого пара с повышенной температурой. Температура пара для котла ТГМ-84Б после 3-го впрыска ниже температуры пара за 2-м впрыском котла БКЗ-320-13,8 в среднем на 60°C. Сжигание газа в топке котла ТГМ-84Б происходит преимущественно в сечении горелок по глубине топки в сравнении с котлом БКЗ-320-13,8, в котором горение происходит по высоте топки.

На рис. 3 показаны значения тепловых потоков от факела в топке котла ТГМ-84Б при нагрузке 240 т/ч при расходе газа 18600 м³/ч. Направления круток во время экспериментов по номерам горелок приведены в табл. 3. Тепловые потоки в топке котла ТГМ-84Б имеют более низкие значения по сравнению с котлом БКЗ-320-13,8.



Рис. 3. Тепловые потоки от факела в топке котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при нагрузке 240 т/ч и расходе газа 18600 м³/ч (температура входящих газов 129°C, коэффициент избытка воздуха 1,095)

Таблица 3

Направления круток по номерам горелок котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1

Номера горелок	1	2	3	4	5	6
Направление крутки	Левое	Левое	Правое	Правое	Левое	Левое
Угол наклона лопаток β	45	30	30	30	45	60
Параметр тангенциальной крутки nt	1,049	0,633	0,633	0,633	1,049	1,692

В табл. 4 приведены значения показателей работы котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при сжигании мазута М100 с теплотой сгорания 35367,8 кДж/м³. Как видно из табл. 4, значения КПД при сжигании мазута М100 в топке котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 ниже величин, полученных при сжигании газа, в среднем на 0,9%. Содержание NO_x при сжигании мазута возрастает в среднем в 2,24 раза по сравнению с сжиганием газа. Однако при сжигании газа в топке котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 значения концентрации NO_x выше в 1,11 раза по сравнению с котлом ТГМ-84Б

(станционный № 10) на Казанской ТЭЦ-1 вследствие более высоких значений тепловых потоков от факела.

Таблица 4

Показатели работы котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при сжигании мазута М100 с низшей теплотой сгорания 38673,7 кДж/кг с паромеханическими форсунками ФУЗ-5000 (ГПМ-050.000)

Показатель	Паровая нагрузка Дк, т/ч						
	185*	230	270	300	340	380	420
Температура пара за 1-м впрыском, °С	320/320	350/350	350/350	340/340	340/330	340/340	335/340
Температура пара за 2-м впрыском, °С	360/360	380/380	380/380	380/370	375/370	370/370	370/370
Температура пара за 3-м впрыском, °С	420/420	460/460	460/460	470/460	465/470	455/455	460/465
Расход мазута, т /ч	10,6	15,8	18,5	20,5	23,3	26,0	28,8
Давление мазута на форсунках, кгс/см ²	8,0	7,5	9,0	11,0	11,5	14,5	16,5
Давление пара на распыл, кгс/см ²	5	7	8	9	11	12	13
Содержание О ₂ в режимном сечении, %	5,1	3,7	3,3	3,0	2,5	2,2	1,8
Избыток воздуха в режимном сечении	1,305	1,203	1,177	1,158	1,128	1,111	1,089
Температура уходящих газов, °С	148	150	151	153	155	157	160
Потери тепла с уходящими газами, %	7,24	6,68	6,58	6,54	6,46	6,46	6,47
Потери тепла в окружающую среду, %	0,82	0,66	0,56	0,50	0,44	0,40	0,36
Удельный расход топлива, кг у.т./Гкал	150,2	154,2	153,8	153,7	153,5	153,4	153,3
Содержание NO _x при α= 1,4	300	327	350	370	395	427	460
КПД котла брутто, %	91,95	92,66	92,86	92,96	93,10	93,15	93,17
*) – работа на 4-х горелках с температурой перегретого пара 530°С							

Температура уходящих газов при нагрузке 420 т/ч для котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при сжигании мазута М100 выше в среднем на 17°С по сравнению с сжиганием газа. Однако по сравнению с котлом БКЗ-320-13,8 (станционный №7) на Казанской ТЭЦ-2 значения температуры уходящих газов в среднем на 11°С выше при сжигании мазута в котле ТГМ-84Б. Восходящая крутка факела в котле БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) при сжигании газа приводит к повышенному значению температуры уходящих газов по сравнению с горением факела в топке котла ТГМ-84Б.

Значения падающих тепловых потоков от факела при сжигании мазута М100 в котле ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 показаны на рис. 4.

Как видно из рис. 4, тепловые потоки от факела при сжигании мазута в топке котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 приближаются к значениям потоков при сжигании газа в топке котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 при нагрузке 195 т/ч (см. рис. 2).

Сравнение распределений тепловых потоков от факела по высоте топок для котлов с различными крутками показано на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что восходящая крутка факела в котле БКЗ-320-13,8 характеризуется высокими значениями тепловых потоков по всей высоте топок. Значения тепловых потоков приближаются к величинам в топках мощных котлов ТГМП-344, имеющих двухъярусное фронтальное расположение горелок, аналогичное котлу ТГМ-84Б.

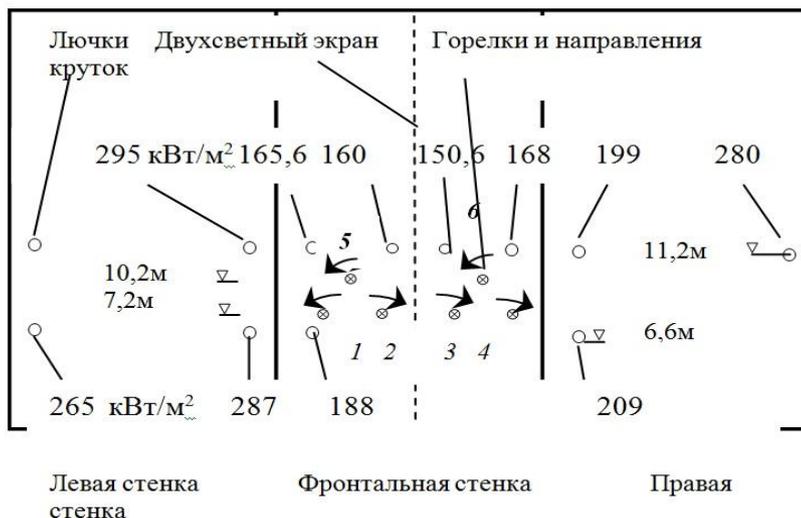


Рис. 4. Тепловые потоков от факела в топке котла ТГМ-84Б (станционный № 10) во время экспериментов на Казанской ТЭЦ-1 при нагрузке 360 т/ч и расходе мазута 22,3 т/ч

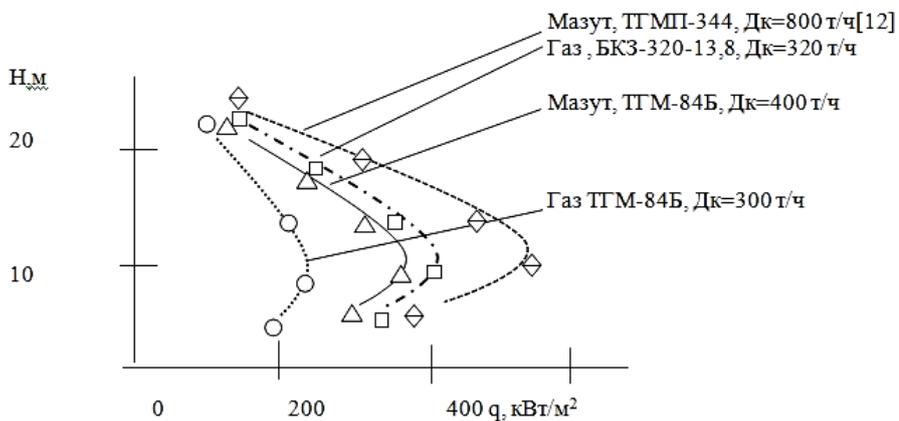


Рис. 5. Сравнительные данные по тепловым потокам от факела при различных крутках и видах сжигаемого топлива

Выводы

1. Восходящая крутка факела в топке котла БКЗ-320-13,8 (станционный № 7) на Казанской ТЭЦ-2 при сжигании газа характеризуется большими значениями тепловых потоков от факела, превосходящими значения тепловых потоков при сжигании всех видов топлива в топке котла ТГМ-84Б, что позволяет повысить КПД.

2. Восходящая крутка факела в топке котла БКЗ-320-13,8 характеризуется более равномерным распределением тепловых потоков по экранам, что позволяет снизить локальные термические перенапряжения труб и избежать их перегрева при высоких нагрузках.

Литература

1. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод, С.-П., АОО НПО ЦКТИ. 1998, 258 с.

2. Девисилов В.А., Дроздова Т.И., Тимофеева С.С. Теория горения и взрыва: учебное пособие для вузов. М.: ФОРУМ, 2012. 352 с.
3. Таймаров М.А., Додов И.Р., Степанова Т.О. Сжигание сбросных газов для теплофикации в нефтехимии // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. Вып. 24. С. 95–98.
4. Таймаров М.А., Садыков Р.А., Чайковский В.Г. Измерение температур и падающих потоков в топке котла ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1 // Вестник машиностроения. 2016. № 2. С. 36–38.
5. Ahrenfeldt J., Thomsen T.P., Henriksen U., Clausen L.R. Biomass gasification cogeneration. A review of state of the art technology and near future perspectives // Applied Thermal Engineering. 2013. № 50. P. 1407–1417.
6. Таймаров М.А. Практические занятия на ТЭЦ. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2003. 64 с.
7. Таймаров М.А., Ахметова Р.В. Газомазутные горелки: учебное пособие. Казань: Издательство ООО «ИПК «Бриг», 2016. 80 с.
8. Третьяков В.И. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергия. 1977, 297 с.
9. Таймаров М.А. Лабораторный практикум по курсу «Котельные установки и парогенераторы». Казань: Казан, гос. энерг. ун-т, 2004. 107 с.
10. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. Технологические расчеты установок переработки нефти. М.: Химия, 1987. 352 с.
11. Gelderen L, Malmquist L.M.V, Jomaas G. Vaporization order and burning efficiency of crude oils during in-situ burning on water. 2017. P. 558–537.
12. Абрютин А.А. Особенности теплообмена в топке мощного мазутного котлоагрегата с подовой компоновкой горелок4 // Электрические станции. 1981. № 9. С. 27–30.

Авторы публикации

Таймаров Михаил Александрович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Энергетическое машиностроение» (ЭМ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ) E-mail: taimarovma@yandex.ru.

Салтанаева Елена Андреевна – старший преподаватель кафедры «Информатика и информационно-управляющие системы» (ИИУС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: elena_maister@mail.ru.

Ахметова Римма Валентиновна – старший преподаватель кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: shila@bk.ru.

Сунгатуллин Раис Газимуллович – старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: raesg@mail.ru.

Аль Зубайди Али Талиб Салих – магистр 2-го курса кафедры «Энергетическое машиностроение» (ЭМ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Thermal calculation of boilers. Regulatory method. SPb.: NGOS CC T., 1998. 256 p.
2. Devisilov V.A., Drozdova T.I., Timofeeva S.S. The theory of combustion and explosion: a textbook for high schools. M.: FORUM, 2012. 352 p.
3. Taimarov M.A, Dodov I.R, Stepanova T.O. Combustion of waste gases for heating in petrochemicals // Bulletin of Kazan Technological University. 2015, Vol.18, Vol. 24 P. 95–98
4. Taimarov M.A., Sadykov R.A., Tchaikovsky V.G. Measurement of temperatures and falling flows in the furnace of the TG-104 boiler at Surgutskaya GRES-1 // Bulletin of Machine Building. 2016. No. 2. P. 36–38.

5. Ahrenfeldt J., Thomsen T.P., Henriksen U., Clausen L.R. Biomass gasification cogeneration. A review of state of the art technology and near future perspectives // *Applied Thermal Engineering*. 2013. No. 50. P. 1407–1417.

6. Taymarov M.A. Practical training at the thermal power station. Kazan: Kazan, the state. Power. Un-t. 2003. 64 p.

7. Taymarov M.A., Akhmetova R.V. Gas oil burners: a textbook. Kazan: Publishing house of "IPC "Brig", 2016. 80 p.

8. Trembovlya V.I. Thermotechnical testing of boiler plants. Moscow: Energia, 1977. 297 p.

9. Taymarov M.A. Laboratory workshop on the course "Boiler installations and steam generators". Kazan: Kazan State Power Univ., 2004. 107 p.

10. Tanatarov M.A., Akhmetshina M.N., Fashutdinov R.A. Technological calculations of oil processing plants. M.: Chemistry, 1987. 352 p.

11. Gelderen L., Malmquist L.M.V., Jomaas G. Vaporization order and burning efficiency. 2017. P. 558–537. 12. Abryutin A.A. Features of heat exchange in the furnace of a powerful fuel oil boiler with a burner arrangement. *Electric stations*. 1981. No. 9. P. 27–30.

12. Abryutin A.A. Osobennosti teploobmena v topke moshchnogo mazutnogo kotloagregata s podovoi komponovkoi gorelok. *Elektricheskie stantsii*. 1981. No. 9. P. 27–30.

Authors of the publication

Mikhail A. Taymarov – Dr. Sci. (Techn.), professor, Department "Energy engineering", Kazan state power engineering university.

Elena A. Saltanaeva – senior lecturer, Department of Informatics and control systems, Kazan state power engineering university.

Rimma V. Akhmetova – senior lecturer, Department of "Electric Stations", Kazan state power engineering university.

Rais G. Sungatullin – senior lecturer, Power Supply companies and energy-saving technologies, Kazan state power engineering university.

Al-Zubaidi Ali Talib Saleh – Master of the 2nd year of the department "Energy engineering", Kazan state power engineering university.

Поступила в редакцию

02 июня 2017 г.