



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРИФЕРИЙНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ГАЗОРАЗДАЧИ В ГОРЕЛКАХ КОТЛОВ ТГМ-84А

М.А. Таймаров¹, Р.В. Ахметова¹, Ю.В. Лавирко², Л.И. Касимова³

¹Казанский государственный энергетический университет,

² Казанский государственный архитектурно-строительный университет,

³Казанский национальный исследовательский технологический университет

Резюме: К настоящему времени известно достаточно большое количество горелок для камерного сжигания газообразного топлива различающихся между собой по характеру газораздачи для смешения топлива с воздухом. Для отечественных газомазутных горелок энергетических котлов характерным является их унификация по типу сжигания топлива, то есть теплота сгорания сжигаемого топлива может изменяться в довольно широких пределах. Более того, непосредственно в процессе эксплуатации на ТЭС производится их реконструкция для уменьшения длины факела, достижения равномерного излучения факела, изменения локальных значений температур факела или уменьшения их максимальных значений. Как правило, подробных исследований, получаемых после реконструкций этих горелок, не проводится. Зарубежные горелки конструируются и изготавливаются на сжигание конкретного вида топлива с заданной теплотой сгорания. При этом основная роль для повышения КПД отводится компьютерному регулированию соотношения топлива и воздуха, газораздача - центральная трубчатая. Кроме высокой стоимости, трудность применения зарубежных горелок для отечественных энергетических котлов связана с адаптацией автоматики этих горелок к системе автоматизации отечественных котлов. Поэтому для отечественных котлов одним из направлений их модернизации с целью повышения КПД является реконструкция схем газораздачи в существующих горелках. В данной статье исследуется эффективность применения периферийной трубчатой газораздачи в сравнении с комбинированной периферийной трубчатой газораздачей, совмещенной с конической центральной газораздачей при использовании в качестве основной тангенциальной периферийной крутки воздуха. Данные схемы газораздачи применяются в котлах ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 и Нижнекамской ТЭЦ-1, на которых проведены эксперименты по выявлению эффективности этих типов газораздачи для сжигания природного газа Уренгойского месторождения.

Ключевые слова: котел, сжигание, газ, топка, горелка, крутка воздуха, факел, температура, продукты сгорания, коэффициент полезного действия.

Для цитирования: Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Лавирко Ю.В., Касимова Л.И. Эффективность периферийной и комбинированной газораздачи в горелках котлов ТГМ-84а // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 3. С. 14-22. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-3-14-22.

EFFICIENCY OF THE PERIPHERAL AND COMBINED GAS-DISTRIBUTION IN TORCHES OF COPPERS OF THE TGM-84

MA.Taymarov¹, RV. Akhmetova¹, YuV. Lavirko², LI. Kasimova³

¹Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

² Kazan state university of architecture and engineering, Kazan, Russia

³Kazan national research technological university, Kazan, Russia

Abstract: So far rather large number of torches for chamber combustion of gaseous fuel differing among themselves on the nature of gas-distribution for mixture of fuel with air is known. For domestic oil-gas torches of power coppers their unification as combustion of fuels is characteristic, that is heat of combustion of the burned fuel can change in quite wide limits. Moreover, directly in use on thermal power plant their reconstruction is made for reduction of

length of a torch, achievement of uniform radiation of a torch, change of local values of temperatures of a torch or reduction of their maximum values. As a rule, the detailed researches received after reconstruction of these torches are not conducted. Foreign torches are designed and made on combustion of fuel of a concrete type with the set heat of combustion. At the same time the main role for increase in efficiency is assigned to computer regulation of a ratio of fuel and air, gas-distribution - central tubular. Except high cost, the difficulty of application of foreign torches for domestic power coppers is connected with adaptation of automatic equipment of these torches to the system of automation of domestic coppers. Therefore for domestic coppers one of the directions their modernization for the purpose of increase in efficiency is reconstruction of schemes of gas-distribution in the existing torches. In this article the efficiency of application of peripheral tubular gas-distribution in comparison with the combined peripheral tubular gas-distribution combined with conic central gas-distribution when using as the main tagentsialny peripheral twist of air is investigated. These schemes of gas-distribution are applied in coppers of TGM-84A of the Kazan TES-3 and the Nizhnekamsk TES-1 on which experiments on identification of efficiency of these types of gas-distribution for combustion of natural gas of the Urengoy field are made.

Keywords: boiler, burning, gas, burner, torch, air twist, torch, temperature, efficiency factor.

For citation: Taymarov MA, Akhmetova RV, Lavirko YuV, Kasimova L.I. Efficiency of the peripheral and combined gas-distribution in torches of coppers of the TGM-84. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(3):14-22. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-3-14-22.

Введение

Для сжигания природного газа в топках энергетических котлов ТЭС используются газомазутные горелки с выносным дутьевым вентилятором и различной газораздачей [1]. Применяется периферийная трубчатая газораздача с прямыми и наклонными газораздающими трубами и центральная - с помощью коаксиального конического насадка [2]. На Нижнекамской ТЭЦ-1 на котлах ТГМ-84А применяется комбинированная периферийная трубчатая газораздача, совмещенная с центральным коаксиальным коническим насадком [3]. Типовая периферийная трубчатая газораздача применяется на котлах ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3. В зависимости от типа газораздачи изменяются условия смесеобразования топливно-воздушной смеси и эффективность сжигания топлива, которая отражается на коэффициенте полезного действия (КПД) котла [4]. Поэтому исследование эффективности образования топливовоздушной смеси и ее сгорание при различных схемах газораздачи является актуальным направлением в области повышения КПД энергетических котлов ТЭС [5].

Описание объектов исследования и методики исследования

Объектами исследования являлись режимные параметры работы энергетических котлов ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 (КТЭЦ-3) и Нижнекамской ТЭЦ-1 (НкТЭЦ-1) с различными типами газораздачи при сжигании природного газа Сургутского месторождения с теплотой сгорания 33,77 МДж/нм³. Котлы ТГМ-84А барабанные с номинальной производительностью 420 т/ч при температуре пара 560 °С и давлении 14 Мпа [6]. Имеют четыре вихревые газомазутные горелки, расположенные в два яруса на отметках высоты 8,5 м и 12,5 м на фронтальной стене. Топка котла разделена двухсветным экраном. Размеры топки: ширина 14 м, глубина 6 м, высота 22 м. Измерение интенсивности излучения факела проводилось при помощи радиометра полного излучения ТЕРА-50 с градуировкой РК-15 [7]. Измерение температуры продуктов сгорания проводилось при помощи сдвоенных хромель-алюмелевых термопар. Хромель-алюмелевые термопары вводились при измерениях в составе зонда. Зонд вводился через лючок в топку на глубину до 3 м и записывались показания. Затем зонд вынимался из топки. Подробная методика измерений описана в работах [8]. Погрешность экспериментов при измерении интенсивности излучения от факела рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{\text{н}} = \left(\sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{м}}^2 \right)^{0,5} = \left(4,1,4^2 + 0,3^2 \right)^{0,5} = \pm 2,81\% \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ – приборная погрешность ТЕРА-50 с градуировкой РК-15 при 1100 °С, равная $\pm 1,4\%$; $\sigma_{\text{м}}$ – методическая погрешность, равная $\pm 0,3\%$ [9].

Конечным параметром эффективности топочного процесса является коэффициент полезного действия котлов, который представляет собой совокупное измерение. Основные расчетные формулы для определения КПД включают погрешности измерений отдельных параметров [10].

Систематическая погрешность определения КПД по прямому балансу:

$$\sigma_{\text{пр.б.}} = \left(\sigma_{\text{т.п}}^2 + \sigma_{\text{р.п}}^2 + \sigma_{\text{р.т}}^2 + \sigma_{\text{сг}}^2 \right)^{0,5} \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{пр.б.}} = \left(0,5^2 + 0,8^2 + 0,8^2 + 0,1^2 \right)^{0,5} = \pm 1,24\%$$

где $\sigma_{\text{т.п}}$ – погрешность измерения температуры пара термопарой, равная $\pm 0,5\%$; $\sigma_{\text{р.п}}$ – погрешность измерения расхода пара ультразвуковым расходомером, равная $\pm 0,8\%$; $\sigma_{\text{р.т}}$ – погрешность измерения расхода топлива ультразвуковым расходомером, равная $\pm 0,8\%$; $\sigma_{\text{сг}}$ – погрешность измерения теплоты сгорания топлива калориметром «Тантал», равная $\pm 0,1\%$.

Систематическая погрешность определения КПД по обратному балансу:

$$\sigma_{\text{об.}} = \left(\sigma_{\text{т.ух}}^2 + \sigma_{\text{т.в}}^2 + \sigma_{\text{сг}}^2 \right)^{0,5} = \left(0,5^2 + 0,5^2 + 0,8^2 + 0,1^2 \right)^{0,5} = \pm 0,71\% \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{т.ух}}$, $\sigma_{\text{т.в}}$ – погрешности измерения температуры уходящих газов и воздуха термопарой, равные $\pm 0,5\%$; $\sigma_{\text{сг}}$ – погрешность измерения теплоты сгорания топлива калориметром «Тантал», равная $\pm 0,1\%$.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приведена схема горелки ХФ-ЦКБ-ВТИ-ТКЗ котла ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 с периферийным расположением газораздающих труб 1 и с периферийной тангенциальной круткой воздуха при помощи лопаток 2.

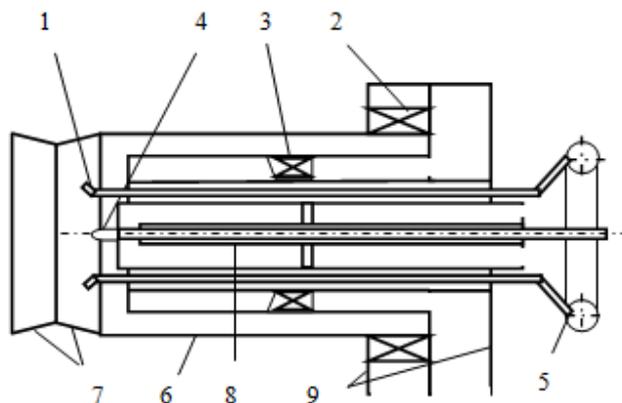


Рис. 1. Горелка ХФ-ЦКБ-ВТИ-ТКЗ котла ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3:

- 1- газораздающие трубы, 2-тангенциальные подвижные лопатки завихрителя наружного воздушного канала, 3- аксиальные неподвижные лопатки внутреннего воздушного канала, 4-мазутная форсунка, 5-кольцевой газовый коллектор, 6-корпус, 7-биконический насадок, 8-центральная установочная труба, 9-улиточная камера.

Диффузорная часть биконического насадка 7 образуется за счет внутренней футеровки топки. Лопатки 3 аксиальной крутки установлены под углом 60° к оси горелки внутреннего воздушного канала и являются неподвижными. Направления аксиальной и периферийной круток воздуха совпадают. Воздухоподводящий короб выполнен в виде улитки 9, расположение которой для каждой из горелок приведено на рис. 2. Как показали эксперименты, несмотря на применение улиточных камер и наличие периферийной и аксиальной круток воздуха для уменьшения длины факела, горелки имеют наброс факела на задний экран. Из-за наброса факела происходит разрушением футеровки внутренней задней стены топки.

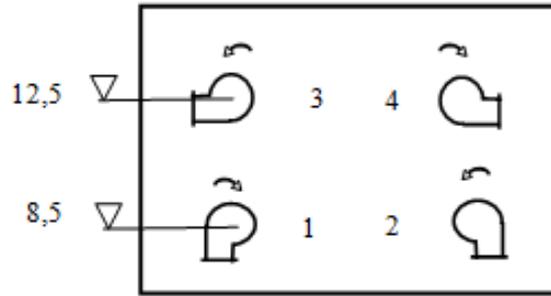


Рис.2. Расположение улиточных камер и направления периферийных круток воздуха по номерам горелок котла ТГМ-84А

На Нижнекамской ТЭЦ-1 котлы ТГМ-84А имеют четыре горелки тангенциальным и аксиальным завихрителями воздуха мощностью при работе на газе 76,7 МВт, расположенные также на фронтальной стене топки в 2 яруса. В отличие от Казанской ТЭЦ-3, газораздача периферийная трубчатая и центральная через отверстия с конического насадка (рис. 3).

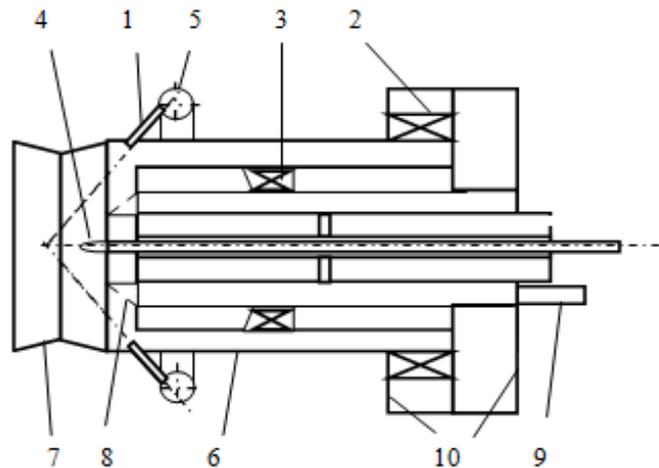


Рис. 3. Горелка мощностью 76,7 МВт для котла ТГМ-84А Нижнекамской ТЭЦ-1:
 1- газораздающие трубы, 2-тангенциальные подвижные лопатки завихрителя наружного канала,
 3- аксиальные неподвижные лопатки внутреннего воздушного канала, 4-мазутная форсунка,
 5-кольцевой газовый коллектор, 6-корпус, 7-биконический насадок, 8-коническая центральная газораздача, 9-труба центральной подачи газа, 10-улиточная камера

По схеме рис. 3 работали горелки при сжигании газа во время экспериментов на котле ТГМ-84А, результаты которых приведены в работе [10]. Применение в горелках котла ТГМ-84А Нижнекамской ТЭЦ-1 наклонных периферийных газораздающих труб 1 в совокупности с конической центральной газораздачей 8 предполагало уменьшение длины факела и устранение его наброса на задний экран топки. Однако, эксперименты показали, что горелки котла ТГМ-84А Нижнекамской ТЭЦ-1 также, как и на Казанской ТЭЦ-3, дают наброс факела на задний экран с разрушением внутренней футеровки стены топки. Но этот наброс значительно меньше. Расход воздуха на горение в среднем в 10 раз больше расхода сжигаемого природного газа и заметного уменьшения длины факела за счет применения наклонной подачи сжигаемой газовой струи не происходит.

Параметры крутки воздуха в горелках при экспериментах по данной работе составляли: тангенциальная крутка - 1,05, аксиальная крутка - 3,09, улиточная крутка – 4,97.

Результаты экспериментов по испытаниям горелок с периферийным расположением газораздающих труб для котла ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 для сжигания газа при различных паровых нагрузках приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов по испытаниям горелок котла ТГМ-84А на Казанской ТЭЦ-3 при сжигании газа

Параметр	Нагрузка котла, т/ч				
	220	280	340	380	420
Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении	1,13	1,11	1,08	1,07	1,07
Содержание O ₂ в дымовых газах за дымососом, %	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4
Коэффициент избытка воздуха за дымососом	1,44	1,40	1,37	1,34	1,31
Температура уходящих газов, °С	113	117	119	121	122
Потери тепла с уходящими газами, %	4,85	4,92	4,95	4,96	4,97
Потери тепла от наружного охлаждения, %	0,88	0,69	0,57	0,51	0,46
КПД котла брутто, %	94,27	94,39	94,48	94,53	94,57
Концентрация NO _x в дымовых газах при α = 1,4, мг/м ³	110	115	125	130	135

Как видно из табл. 1, при периферийном расположении газораздающих труб в горелках котел ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 имеет довольно высокий КПД. Однако при проведении экспериментов наблюдался наброс факела с темным цветом на задний экран, устранение которого может быть решено реконструкцией котла путем установки на задней стене против горелок четырех аппаратов встречного дутья с подачей в них 20 % горячего воздуха от общего количества подаваемого воздуха. По расчетам авторов снижение КПД при этом составит 0,25 % [11].

Результаты экспериментов по испытаниям горелок скомбинированной периферийной трубчатой и центральной газораздачей через отверстия конического насадка для котла ТГМ-84А Нижнекамской ТЭЦ-1 при сжигании газа приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что применение горелок с комбинированной периферийной трубчатой и центральной газораздачей через отверстия конического насадка для котла ТГМ-84А Нижнекамской ТЭЦ-1 позволяет получить более высокие значения КПД по сравнению с горелками при периферийном расположении газораздающих труб для котла ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 (см. табл. 1). Однако при этом при больших нагрузках возрастает концентрация NO_x в дымовых газах, значения которой для обоих способов газораздачи не превышают нормы.

Таблица 2

Результаты экспериментов по испытаниям горелок котла ТГМ-84А на Казанской ТЭЦ-3 при сжигании газа

Параметр	Нагрузка котла, т/ч							
	240	260	280	310	360	390	420	360*
Содержание O ₂ в режимном сечении, %	1,4	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3
Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении	1,07	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,06
Температура уходящих газов, °С	102	103	104	106	107	115	120	140
Потери тепла с уходящими газами, %	4,07	4,13	4,21	4,27	4,24	4,64	4,9	6,11
Потери тепла от наружного охлаждения, %	0,7	0,64	0,59	0,53	0,46	0,43	0,4	0,43
КПД котла брутто, %	95,23	95,20	95,20	95,20	95,30	94,93	94,70	93,46
Концентрация NO _x в дымовых газах при α = 1,4, мг/м ³	96	101	116	124	139	148	155	179

*-данные работы [10] для котла ТГМ-84А при применении встречного дутья.

Распределение интенсивности излучения факела по высоте топок котлов ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3 и Нижнекамской ТЭЦ-1 приведено на рис. 4 [12].

Экспериментальные данные получены путем измерений интенсивности излучения факела радиометром ТЕРА-50 с градуировкой РК-15 через лючки в стенах топки. ТЕРА-50 имеет заводскую градуировку по эталонному излучателю абсолютно черному телу. Во время экспериментов смотровой лючок котла открывался и через него происходила регистрация интенсивности излучения факела.

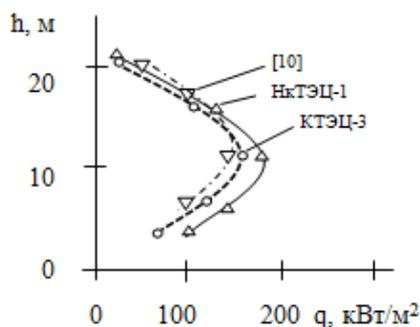


Рис.4. Распределение интенсивности излучения факела q по высоте топок h по измерениям через боковые лючки для котлов ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3(КТЭЦ-3) и Нижнекамской ТЭЦ-1 (НкТЭЦ-1) при сжигании газа для нагрузки 240 т/ч в сравнении с данными работы

Как видно из рис. 4, применение комбинированной периферийной трубчатой и центральной газораздачи через отверстия конического насадка для котла ТГМ-84А Нижнекамской ТЭЦ-1 позволяет получить более высокие значения интенсивности излучения q на уровне горелок по сравнению с периферийной трубчатой газораздачей Казанской ТЭЦ-3. Это объясняется значительным набросом факела на задний экран при использовании горелок с периферийной трубчатой газораздачей для котла ТГМ-84А Казанской ТЭЦ-3. Сравнение с данными работы [10] для котла ТГМ-84А использование встречного дутья для устранения соприкосновения факела с задним экраном сопряжено со снижением интенсивности излучения на уровне отметок горелок 7 и 12 м и повышением интенсивности излучения факела на выходе из топки на отметке 20 м.

Для устранения наброса факела на задний экран при сжигании газа в немецких зарубежных горелках SAACKE, применяют аксиальную периферийную крутку 1 воздуха, аксиальную внутреннюю крутку большого 2 и малого 3 завихрителей (рис. 5).

Лопатки завихрителей не имеют поворотных устройств и являются нерегулируемыми. Газораздача осуществляется через центральные трубы 4 (рис.5). Горелка SAACKE (рис.5) [16]: установлена в ТЭЦ г. Галле (Германия) на паровом котле мощностью 105 т/ч.

Недостатком этой горелки является, то что лопатки нерегулируемые по углу поворота, что в совокупности с центральной трубчатой газораздачей не позволяет использовать горелку для широкой номенклатуры мощностей энергетических котлов с различной конфигурацией топок и топлив с различной теплотой сгорания.



Рис. 5. Горелка SAACKE модели DDG-A-16 мощностью 55 МВт для сжигания природного газа 1 - аксиальная периферийная крутка воздуха, 2 - аксиальная внутренняя крутка большого завихрителя, 3 - аксиальная внутренняя крутка малого завихрителя, 4 - центральные трубы

Для котлов ТГМ-84А предлагается горелке мощностью 50 МВт с периферийными поворотными газораздающими трубами и центральной конической газораздачей (рис. 6).

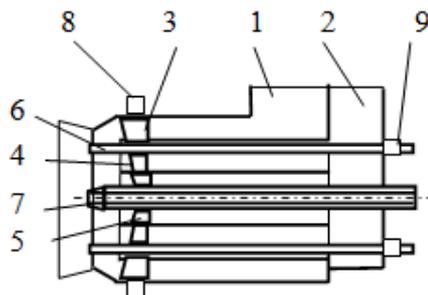


Рис. 6. Схема разработанной газомазутной горелки с периферийными поворотными газораздающими трубами и центральной конической газораздачей:

1-периферийная воздухоподача, 2-центральная воздухоподача, 3- лопатки аксиального периферийного завихрителя, 4-лопатки аксиального внутреннего большого завихрителя, 5-лопатки аксиального внутреннего малого завихрителя, 6-периферийные газораздающие трубы, 7-центральный газораздающий конический насадок, 8-электропривод поворота периферийных лопаток, 9-электропривод перемещения периферийных труб.

В зависимости от состава и теплоты сгорания топлива подача воздуха регулируется через канал 1 в количестве до 55...60 % и через канал 2 в количестве до 40...45 % электроприводными задвижками. На приведенной схеме задвижки не показаны. Углы наклона лопаток периферийного аксиального завихрителя 3 в пределах 25°...35° регулируются при помощи электропривода 8. Электропривод 9 служит для поворота и продольного перемещения периферийных труб 6 вокруг своих осей с целью регулирования равномерности горения факела.

Выводы

1. Применение комбинированной периферийной трубчатой и центральной газораздачи через отверстия конического насадка в горелках для котла ТГМ-84А является более эффективным способом сжигания природного газа по сравнению с периферийной трубчатой газораздачей.

2. Применение встречного дутья для устранения наброса факела на задний экран снижает КПД котла и повышает интенсивность излучения на выходе из топки в области ширм, что является нежелательным режимом работы ширмовых пароперегревателей.

3. Наиболее перспективным способом сжигания газового топлива является комбинация периферийной трубчатой и центральной конической газораздачи при использовании периферийной лопаточной регулируемой аксиальной крутки воздуха и внутренней аксиальной крутки воздуха с помощью большого и малого лопаточных завихрителей.

Литература

1. Таймаров М.А., Ахметова Р.В. Газомазутные горелки. Казань, КГЭУ, 2017. 80 с.
2. Zhang J., Yuan H., Zhao J., Mei N. Viscosity estimation and component identification for an oil-water emulsion with the inversion method. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. V.111. pp. 759-767.
3. Gelderen L., Malmquist M., Jomaas G. Vaporization order and burning efficiency of crude oils during in situ burning on water. 2017. pp. 558-537.
4. Kadota T., Yamasaki H. Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. - Progress in energy and combustion science. 2002. V.28. N.5. pp. 385-404.
5. Ahrenfeldt J., Thomsen T., Henriksen U., et al. Biomass gasification cogeneration. Applied Thermal Engineering. 2013. N.50. pp. 1407-1417.
6. Sanchez A., Williams F. Recent advances in understanding of flammability characteristics of hydrogen. Progress in Energy and Combustion Science. 2014. V. 41.N. 1. pp. 1-55.
7. Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Чикляев Е.Г., и др. Показатели режимных параметров котлов ТГМ-84Б при сжигании в них метано-водородной фракции. Вестник КГЭУ, 2017, №1 (33). С. 58-63.
8. Таймаров М.А., Кувшинов Н.Е., Ахметова Р.В., и др. Исследование химических процессов образования оксидов азота при сжигании газа и мазута. Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. №20. С.80-83.

9. Горелки Saacke. Электронный ресурс. Доступ: saacke.ru>engine.htm, 2020.
10. Абрютин А.А., Вязовой С.К. Исследование теплообмена в топке котла и ширмовом перегревателе при сжигании мазута и газа с малыми избытками воздуха. Теплоэнергетика. 2001. №2. С. 16-21.
11. Таймаров М.А. Тепловой расчет барабанного котла ТГМ-84. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012612419 от 6 марта 2012.
12. Горелки Weishaupt. Электронный ресурс. Доступ: weishaupt-russia.ru, 2020.
13. Горелки Oilon. Электронный ресурс. Доступ: oilon.comm, 2019.
14. Горелки промышленной мощности- новые модели на российском рынке. Электронный ресурс. Доступ: <http://teplomega.ru/wp-content/uploads/2017/03>.
15. Импортные горелки для отечественных котлов: примеры адаптации и практика эксплуатации. Электронный ресурс. Доступ: teplomega.ru/wp-content/uploads/2017/03.
16. Газификация котельной космодрома «Плесецк». Электронный ресурс. Доступ: <http://www.saacke.ru/news.htm>, 2020.

Авторы публикации

Таймаров Михаил Александрович – д-р техн наук, профессор кафедры «Энергетическое машиностроение» (ЭМС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Ахметова Римма Валентиновна – старший преподаватель кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Лавирко Юрий Васильевич – канд. технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика, газоснабжение и вентиляция» Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ).

Касимова Лейсан Ильгизаровна – аспирантка КНИТУ.

References

1. Taymarov MA, Akhmetova RV. *Gazomazutnye gorelki*. Kazan, KGEU, 2017. 80 p.
2. Zhang J, Yuan H, Zhao J, et al. Viscosity estimation and component identification for an oil-water emulsion with the inversion method. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017. V.111. pp. 759-767.
3. Gelderen L, Malmquist M, Jomaas G. *Vaporization order and burning efficiency of crude oils during in situ burning on water*. 2017. pp. 558-537.
4. Kadota T, Yamasaki H. Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. *Progress in energy and combustion science*. 2002. V.28. N.5. pp. 385-404.
5. Ahrenfeldt J, Thomsen T, Henriksen U, et al. Biomass gasification cogeneration. *Applied Thermal Engineering*. 2013. N.50. pp. 1407-1417.
6. Sanchez A, Williams F. Recent advances in understanding of flammability characteristics of hydrogen. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2014. V. 41. N. 1. pp. 1-55.
7. Taymarov M.A, Akhmetova R.V, Chiklyaev E.G, et al. Indicators of regime parametrical tgm-84b by burning them in a methane-hydrogen fraction. *Vestnik KGEU*. 2017. №1 (33). pp. 58-63.
8. Taymarov MA, Kuvshinov NE, Akhmetova RV, et al. Investigation of chemical processes of nitrogen oxides formation during gas and fuel oil combustion. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2016. V. 19. № 20. pp.80-83.
9. Saacke tracks. *Electronic resource*. Access: saacke.ru >engine.htm, 2020.
10. Abryutin AA, Vyazova SK. Study of heat exchange in boiler furnace and screen superheater during combustion of fuel oil and gas with small excess air. *Thermal power engineering*. 2001. № 2. pp. 16-21.
11. Taymarov MA. Thermal calculation of a drum copper of TGM-84. *Certificate on the state registration of the computer program* No. 2012612419 of March 6, 2012.
12. Weishaupt tracks. *Electronic resource*. Access: weishaupt-russia.ru, 2020.
13. Oilon tracks. *Electronic resource*. Access: oilon.com, 2019.
14. *Industrial capacity - new models in the Russian market*. Electronic resource. Access: <http://teplomega.ru/wp-content/uploads/2017/03>.
15. *Imported burners for domestic boilers: adaptation examples and operating practices*. Electronic resource. Access: teplomega.ru/wp-content/uploads/2017/03.
16. *Gasification of the boiler house of the Pleseck launch site*. Electronic resource. Access:

© М.А. Таймаров, Р.В. Ахметова, Ю.В. Лавирко, Л.И. Касимова

<http://www.saacke.ru/news.htm>, 2020.

Authors of the publication

Mikhail A. Taymarov – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia. E-mail: taimarovma@yandex.ru.

Rimma V. Akhmetova – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia. E-mail: ahmetova_rv@bk.ru.

Yury V. Lavirko – Kazan state university of architecture and engineering, Kazan, Russia. E-mail: lav.yu55@gmail.com.

Leysan I. Kasimova – Kazan national research technological university, Kazan, Russia. E-mail: k.lays@yandex.ru.

Поступила в редакцию

10 сентября 2019 г.