

ТЕПЛОВЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ФАКЕЛА В
ТОПКЕ КОТЛА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗА

ТАЙМАРОВ М.А., СУНГАТУЛЛИН Р.Г.

Казанский государственный энергетический университет

В статье приводятся результаты измерений КПД и падающих тепловых потоков от факела в топке котла ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1. По результатам экспериментов предложен перечень технических мероприятий по оптимизации режимных параметров ведения топочного процесса в котлах ТГ-104 №№3, 13, 7, 16 СурГРЭС-1.

Ключевые слова: котлы, тепловые потоки, факел, оптимизация режимных параметров.

В данной статье приводятся результаты экспериментов по излучению факела в топке котла ТГ-104 Сургутской ГРЭС-1. Методика экспериментов и оборудование описаны в работах [1, 2]. Схема расположения лючков, через которые проведены измерения тепловых потоков, показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения лючков на котле ТГ-104

Котел ТГ-104 однокорпусный и имеет П-образную компоновку поверхностей нагрева. Ширина фронта котла по осям колонн составляет 20,3 м, с учетом крайних ферм каркаса 26,7 м, глубина котла в осях колонн составляет 21,9 м. Наивысшая отметка котла по перепускным трубам 37,5 м. Топочная камера котла имеет призматическую форму, в плане представляет собой прямоугольник, с размером в осях труб по фронту 18,6 м и по глубине 7,2 м. Объем топочной камеры 2640 м³, удельное теплонапряжение объема (до ширмового пароперегревателя) 208 кВт/м³. Теплонапряжение сечения топки составляет 7070 кВт/м³. Относительно небольшая величина теплонапряжения объема и сечения обеспечивают надежную и экономичную работу топочного устройства.

Стены топочной камеры полностью экранированы трубами наружным диаметром 60 мм и толщиной стенки 6 мм из стали 20 с шагом 64 мм. Под топочной камерой образован панелями заднего экрана, имеет наклон к горизонту 15° и защищен от излучения факела слоем огнеупорной кладки. На фронтальной стене топочной камеры котла установлены в 2 яруса (на отметке 11,1 и 14,1 м) 12 газомазутных горелок по

шесть в каждом ярусе. При выборе единичной мощности и соответственно количества горелок учитывались, в первую очередь, соображения надежности, экономичности и необходимость обеспечения работы топочного устройства с минимальными избытками воздуха. Горелки 4,5 т/ч по мазуту и 4500 нм³/ч по природному газу – вихревые, двухпоточные со смешанной подачей газа. В центральной трубе горелки устанавливается мазутная форсунка паромеханического распыливания и запальное устройство типа ЗЗУ4.

Природный газ может подаваться как в центральную часть горелки, так и в периферийную. Воздушный канал горелки разделяется на два потока, между которыми предусмотрена возможность перераспределения воздуха.

На рис. 2 показаны результаты измерений через лючки правого экрана 5, 6, 14 падающих тепловых потоков по отметкам высоты топки при работе котла №7 при электрической нагрузке блока 150, 180 и 210 МВт.

Как видно из рис. 2, рост электрической нагрузки слабо влияет на изменение значений падающих тепловых потоков, измеренных через лючки 5 и 14, которые расположены в сечении 2 ближе к фронтальному экрану. Сильный рост значений падающих от факела на правый боковой экран потоков происходит по лючку №6 в сечении 1, т.е. ближе к заднему экрану. Поэтому наиболее опасной зоной (с позиций возможного пережога металла труб) при росте электрической нагрузки являются боковые экраны в сечении 1. Из рис. 2 также следует, что тепловая развертка боковых экранов по глубине топки резко возрастает при увеличении электрической нагрузки блока. При увеличении электрической нагрузки блока от 150 до 210 МВт (т.е. на 40 %) падающий тепловой поток на правый боковой экран на отметке 13,3 м и на расстоянии 0,7 м от заднего экрана, т.е. в области лючка 6, возрастает в 2,4 раза.

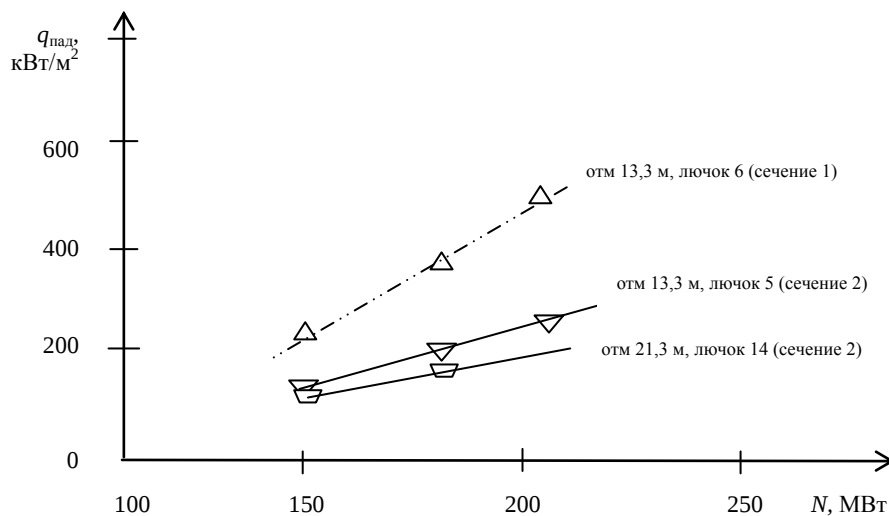


Рис. 2. Результаты измерений через лючки 5, 6, 14 правого экрана падающих тепловых потоков $q_{\text{пад}}$ по отметкам высоты топки 13,3 и 21,3 м при работе котла №7 при электрических нагрузках блока N равных 150, 180 и 210 МВт

На рис. 3 показаны результаты измерений через лючки правого экрана 2, 5, 6, 14, 15 падающих тепловых потоков в сечениях 1 и 2 по отметкам высоты топки при работе котла №16 при электрической нагрузке блока 180 и 210 МВт. Как видно из рис. 3, с увеличением электрической нагрузки от 180 до 210 МВт (т.е. на 17 %) плотность падающего излучения на правый экран в области сечения 1 (область приближенная к задней стенке котла) возрастает в среднем в 2 раза как на отметке 13,3 м, так и на отметке 21,3 м. При нагрузке 210 МВт области правого экрана в сечении 1 и 2

подвержены воздействию падающих тепловых потоков, которые различаются на отметке 13,3 м в 2,6 раза, а на отметке 21,3 м – в 1,7 раза.

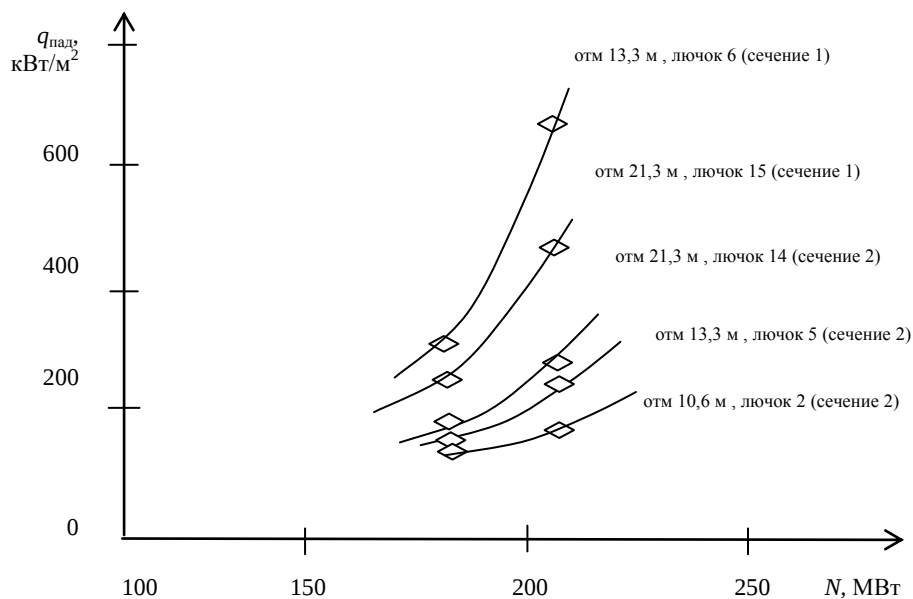


Рис. 3. Результаты измерений через лючки 2, 5, 6, 14, 15 правого экрана падающих тепловых потоков $q_{пад}$ по отметкам высоты топки 10,6; 13,3 и 21,3 м при работе котла №16 при электрических нагрузках блока N равных 180 и 210 МВт

На рис. 4.1 и 4.2 показаны результаты измерений через лючки правого и левого боковых экранов падающих тепловых потоков по глубине топки в сечениях 1 и 2 по отметкам высоты топки при работе котла №15 при электрической нагрузке блока 160 МВт.

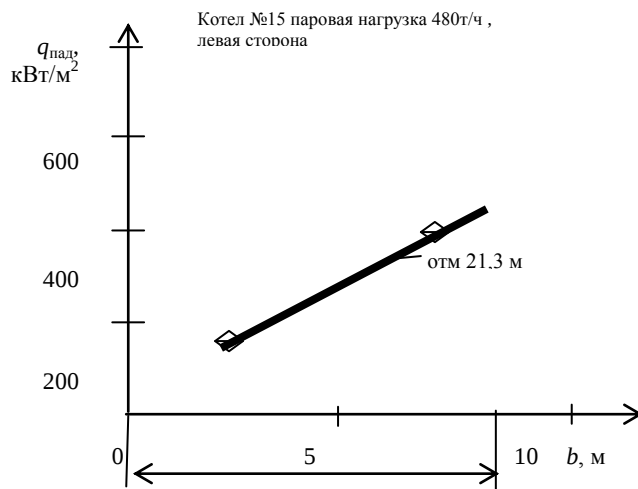


Рис. 4.1. Распределение падающих на экраны тепловых потоков от факела $q_{пад}$ (кВт/м²) по глубине топок b (м) котла ТГ-104 №15 СурГРЭС-1 при номинальной электрической нагрузке 160 МВт. Значение глубины топок b (м) отсчитывается от фронтального экрана по наружной левой стене топки котлов

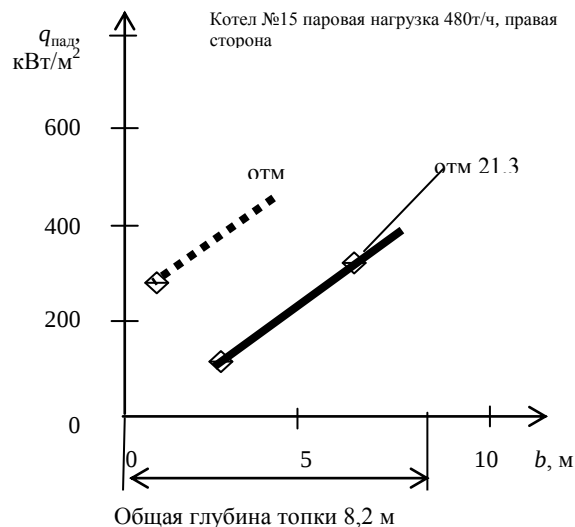


Рис. 4.2. Распределение падающих на экраны тепловых потоков от факела $q_{\text{пад}}$ (кВт/м²) по глубине топок b (м) котла ТГ-104 №15 СурГРЭС-1 при номинальной электрической нагрузке 160 МВт. Значение глубины топок b (м) отсчитывается от фронтального экрана по наружной левой стене топки котлов

На рис. 5 показана зависимость КПД котлов при нагрузке 210 МВт по обратному балансу от значений падающих потоков, измеренных через лючок 6 на уровне горелок отм. 13,3 м правого экрана и через лючок 12 на уровне горелок отм. 21,3 м левого экрана. Как видно из рис. 5, в пределах точности экспериментов существует связь между интенсивностью излучения факела и КПД котла. Увеличение плотности падающих на экраны тепловых потоков на 100 кВт/м² от факела приводит к увеличению КПД на 0,7 %.

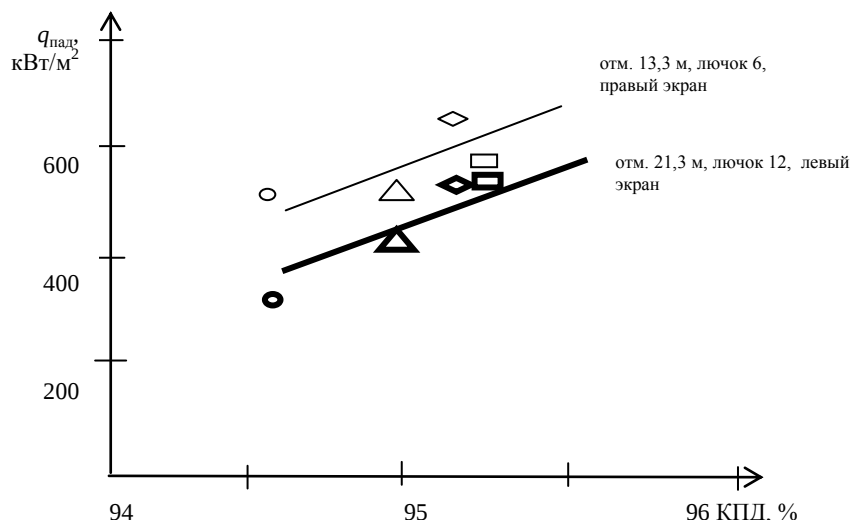


Рис. 5. Зависимость КПД котлов по обратному балансу при нагрузке 210 МВт от значений падающих потоков $q_{\text{пад}}$, кВт/м², измеренных через лючок 6 (сечение 1) на уровне горелок отм. 13,3 м правого экрана и через лючок 12 (сечение 1) на уровне горелок отм. 21,3 м левого экрана

○	котел №3 паровая нагрузка 670 т/ч, содержание кислорода в уходящих газах $O_2 = 1,2 \%$, $t_{yx} = 132^\circ C$
△	котел №7 паровая нагрузка 690 т/ч, содержание кислорода в уходящих газах $O_2 = 1,5 \%$, $t_{yx} = 123^\circ C$
◇	котел №16 паровая нагрузка 616 т/ч, содержание кислорода в уходящих газах $O_2 = 1,3 \%$, $t_{yx} = 127^\circ C$
□	котел №13 паровая нагрузка 680 т/ч, содержание кислорода в уходящих газах $O_2 = 1,2 \%$, $t_{yx} = 118^\circ C$

По результатам экспериментов на котле и измерений КПД можно сформулировать следующий перечень технических мероприятий по оптимизации режимных параметров ведения топочного процесса в котлах ТГ-104 №3, 13, 7, 16 СурГРЭС-1 (таблица).

Таблица

Перечень технических мероприятий по оптимизации режимных параметров ведения топочного процесса в котлах ТГ-104 №№3, 13, 7, 16 СурГРЭС-1

№ п/п	Содержание нарушения топочного процесса	Обоснование нарушения, по результатам опытов и диагностики	Причины отклонения показателей от оптимального режима работы	Способ устранения нарушения и техническое мероприятие
1	2	3	4	5
1. Котел №3				
1.1	Низкий КПД по прямому балансу	КПД находится в области 80-85 %	Неточные показания расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры	Тарировать расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры
1.2	Завышенный КПД по обратному балансу	КПД находится в области 95-97 %	Неточные показания кислородомера и термометров холодного воздуха и уходящих газов	Настроить и тарировать кислородомеры, термометры холодного воздуха и уходящих газов, уточнить методику замеров.
1.3	Высокие потери от наружного охлаждения котла	Температура металлической обшивки около $70^\circ C$ по измерениям термопарой, вместо $37^\circ C$	Не соблюдено исполнение футеровки с огневой стороны	Выполнить футеровку в соответствии с правилами теплоизоляции котлов.
1.4	Тепловая разверка между левым и правыми	Падающий на боковые экраны тепловой поток у области заднего экрана выше	Центр ядра факела локализован по глубине топки в сторону заднего	Сместить на 1,5 м центр ядра факела к фронту за счет изменения крутки факела путем подачи острого дутья через 6

продолжение таблицы

	боковыми экранами котла	потока, падающего у фронты на боковые экраны в 2 раза	экрана	шлицев с диаметром труб 100 мм и отбором 5 % горячего воздуха от двух воздухопроводов
1.5	Повышенное отложение накипи и солей внутри экранных труб до 628 г/м ² в конце межпромывочного периода	Небольшие значения падающих тепловых потоков на экранные трубы которые равны в среднем 400 кВт/м ² на уровне горелок	Слабая циркуляция в контуре экранных труб из-за небольших значений падающих тепловых потоков на экранные трубы	Увеличить значения падающих тепловых потоков до 600 кВт/м ² путем подачи острого дутья через 6 шлицев с диаметром труб 100 мм и отбором 5 % горячего воздуха от двух воздухопроводов.
1.6	Отсутствует контроль за величиной падающего на боковые экраны теплового потока и диагностирования значений КПД котла	В ходе опытов установлена зависимость между КПД и значением падающего на экраны теплового потока	Значения КПД могут быть диагностированы при значительной толщине факела, т.е. при толщине слоя факела в поперечном сечении топки	Установить датчики падающих на боковые экраны потоков в точке лючка №12 отм. 21,3 м (левый экран) и в точке лючка 6 отм. 13,3 м (правый экран) с целью ведения непрерывного контроля за уровнем эффективности топочного процесса
			1. Котел №13	
1.1	Низкий КПД по прямому балансу	КПД находится в области 80-85 %	Неточные показания расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры	Тарировать расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры
1.2	Завышенный КПД по обратному балансу	КПД находится в области 95-97 %	Неточные показания кислородомера и термометров холодного воздуха и уходящих газов	Настроить и тарировать кислородомеры, термометры холодного воздуха и уходящих газов, уточнить методику замеров.
1.3	Высокие потери от наружного охлаждения котла	Температура металлической обшивки около 70 °С по измерениям	Не соблюдено исполнение футеровки с огневой стороны	Выполнить футеровку в соответствии с правилами теплоизоляции котлов.

		термопарой, вместо 37 °С		
1.4	Тепловая разверка между левым и правыми боковыми экранами котла	Падающий на боковые экраны тепловой поток у области заднего экрана выше потока, падающего у фронта на боковые экраны в 1,5 раза	Центр ядра факела локализован по глубине топки в сторону заднего экрана	Сместить на 1 м центр ядра факела к фронту путем подачи острого дутья через 6 шлицев с диаметром труб 100 мм и отбором 5% горячего воздуха от двух воздухопроводов
1.5	Повышенное отложение накипи и солей внутри экранных труб до 513 г/м ² в конце межпромывочного периода	Небольшие значения падающих тепловых потоков на экранные трубы которые равны в среднем 440 кВт/м ² на уровне горелок	Слабая циркуляция в контуре экранных труб из-за небольших значений падающих тепловых потоков на экранные трубы	Увеличить значения падающих тепловых потоков до 600 кВт/м ² путем подачи острого дутья через 6 шлицев с диаметром труб 100 мм и отбором 5 % горячего воздуха от двух воздухопроводов
1.6	Отсутствует контроль за величиной падающего на боковые экраны теплового потока и диагностирования значений КПД котла	В ходе опытов установлена зависимость между КПД и значением падающего на экраны теплового потока	Значения КПД могут быть диагностированы при значительной толщине факела, т.е. при толщине слоя факела в поперечном сечении топки	Установить датчики падающих на боковые экраны потоков в точке лючка №12 отм. 21,3 м (левый экран) и в точке лючка 6 отм. 13,3 м (правый экран) с целью ведения непрерывного контроля за уровнем эффективности топочного процесса
			3. Котел №7	
1.1	Низкий КПД по прямому балансу	КПД находится в области 80-85 %	Неточные показания расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры	Тарировать расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры
1.2	Завышенный КПД по обратному	КПД находится в области 95-97 %	Неточные показания кислородомера и	Настроить и тарировать кислородомеры, термометры холодного

продолжение таблицы

	балансу		термометров холодного воздуха и уходящих газов	воздуха и уходящих газов, уточнить методику замеров.
1.3	Высокие потери от наружного охлаждения котла	Температура металлической обшивки около 70 °С по измерениям термопарой, вместо 37 °С	Не соблюдено исполнение футеровки с огневой стороны	Выполнить футеровку в соответствии с правилами теплоизоляции котлов.
1.4	Тепловая развертка между левым и правыми боковыми экранами котла	Падающий на боковые экраны тепловой поток у области заднего экрана выше потока, падающего у фронта на боковые экраны в 1,2 раза	Центр ядра факела локализован по глубине топки в сторону заднего экрана	Сместить на 1 м центр ядра факела к фронту за счет изменения крутки факела путем подачи острого дутья через 6 шлицев с диаметром труб 100 мм и отбором 5 % горячего воздуха от двух воздухопроводов
1.5	Отсутствует контроль за величиной падающего на боковые экраны на теплого потока и диагностирования значений КПД котла	В ходе опытов установлена зависимость между КПД и значением падающего на экраны теплого потока	Значения КПД могут быть диагностированы при значительной толщине факела, т.е. при толщине слоя факела в поперечном сечении топки	Установить датчики падающих на боковые экраны потоков в точке лючка №12 отм. 21,3 м (левый экран) и в точке лючка 6 отм. 13,3 м (правый экран) с целью ведения непрерывного контроля за уровнем эффективности топочного процесса
			4. Котел №16	
1.1	Низкий КПД по прямому балансу	КПД находится в области 80-85%	Неточные показания расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры	Тарировать расходомеры топлива, пара, горячей воды и термометры
1.2	Завышенный КПД по обратному балансу	КПД находится в области 95-97 %	Неточные показания кислородомера и термометров холодного воздуха и уходящих газов	Настроить и тарировать кислородомеры, термометры холодного воздуха и уходящих газов, уточнить методику замеров.
1.3	Высокие	Температура	Не соблюдено	Выполнить футеровку в

продолжение таблицы

	потери от наружного охлаждения котла	металлической обшивки около 70 °С по измерениям термопарой, вместо 37 °С	исполнение футеровки с огневой стороны	соответствии с правилами теплоизоляции котлов.
1.4	Тепловая развертка между левым и правыми боковыми экранами котла	Падающий на боковые экраны тепловой поток у области заднего экрана выше потока, падающего у фронта на боковые экраны в 1,5 раза	Центр ядра факела локализован по глубине топки в сторону заднего экрана	Сместить на 1 м центр ядра факела к фронту за счет изменения крутки факела
1.5	Высокая температура продуктов сгорания на выходе из топки	На 150..200 °С превышена температура за счет неправильной крутки факела	Факелы от отдельных горелок не настроены на общую аэродинамику топки	Настроить на общую аэродинамику топки крутки отдельных горелок
1.6	Отсутствует контроль за величиной падающего на боковые экраны теплового потока и диагностирования значений КПД котла	В ходе опытов установлена зависимость между КПД и значением падающего на экраны теплового потока	Значения КПД могут быть диагностированы при значительной толщине факела, т.е. при толщине слоя факела в поперечном сечении топки	Установить датчики падающих на боковые экраны потоков в точке лючка №12 отм. 21,3 м (левый экран) и в точке лючка 6 отм. 13,3 м (правый экран) с целью ведения непрерывного контроля за уровнем эффективности топочного процесса

Выводы

1. Для исследованных котлов №№3, 13, 7, 15, 16 при измерениях через лючки боковых экранов, расположенных по глубине на расстоянии 0,3...0,7 м от заднего экрана, значения падающих потоков теплового излучения от факела в среднем выше в 1,7... 1,9 раза, по сравнению с измеренными через лючки боковых экранов в сечении 2 около фронтовых экранов.

2. При увеличении электрической нагрузки блоков от 150 до 210 МВт (т.е. на 40%) падающий тепловой поток на боковые экраны на отметке 13,3 м возрастает в 2,4 раза.

3. Увеличение плотности падающих на экраны тепловых потоков на 100 кВт/м² от факела приводит к увеличению КПД на 0,7 %.

4. За счет внедрения предлагаемых технических мероприятий можно оптимизировать топочные процессы горения и заметно повысить КПД котлов ТГ-104.

Summary

In article results of measurements of efficiency and the falling heat fluxes from a torch are given in a fire chamber of the boiler TG-104 of SurgutGRES-1. By results of experiments the list of technical actions for optimization of regime parameters of guiding of furnace process in the boilers TG-104 No. 3,13,7,16 SurGRES-1 is offered.

Keywords: boilers, heat fluxes, torch, optimization of regime parameters.

Литература

1. Таймаров М.А. Совершенствование сжигания топлив в энерготехнологических агрегатах / Научное издание. Казань: КГЭУ, 2010. 136 с.
2. Таймаров М.А. Лабораторный практикум по курсу «Котельные установки и парогенераторы» Казань: КГЭУ, 2004. 108 с.

Поступила в редакцию

12 июля 2016 г.

Таймаров Михаил Александрович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Котельные установки и парогенераторы» (КУПГ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 7(843)527-92-20. E-mail: taimarovma@yandex.ru.

Сунгатуллин Раис Газимуллович – старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(843)519-43-21. E-mail: raesg@mail.ru.