

УДК 536.46:621.181

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ШЛАКОВАНИЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ КОТЛОВ ТП-87 НОВО-КЕМЕРОВСКОЙ ТЭЦ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В SIGMA FLAME

¹Чергинец О.А., ¹Дворовенко И.В., ^{1,2}Богомолов А.Р., ¹Темникова Е.Ю.

¹ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
Кемерово, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru;

²ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН», Новосибирск

Проведено моделирование топочных процессов котла ТП-87 Ново-Кемеровской ТЭЦ с применением пакета прикладных программ Sigma Flame. Получено распределение температур в топочной камере при близких к реальности режимных условиях и с использованием комбинированного метода. При близких к реальности режимных условиях температура газов в центре горизонтального сечения топки перед ширмовыми пароперегревателями на уровне аэродинамического выступа составляет 1434°, а у основания ширма – 1203°, это свидетельствует о том, что верхняя часть ширмового пароперегревателя, а также расположенные далее по газовому тракту конвективные ступени пароперегревателя расположены в зоне активного шлакования. Комбинированный метод включал в себя демонтаж пережима, применение попарной встречной крутки смежных турбулентных горелок, рециркуляцию дымовых газов в верхнюю часть топочной камеры, распределение расходных характеристик между соплами. Применение комбинированного метода позволяет снизить температуру дымовых газов перед конвективными поверхностями нагрева ниже температуры начала размягчения 1200°, что позволит предотвратить шлакование в верхней части топочной камеры, при этом абсолютная энтальпия продуктов сгорания с учётом газов рециркуляции будет достаточна для нагрева пара, воздуха и воды в конвективных поверхностях нагрева.

Ключевые слова: шлакование, снижение температуры дымовых газов, моделирование, Sigma Flame

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR REDUCING THE SLAGGING OF THE BOILER SUPERHEATER TP-87 OF THE NOVO-KEMEROVO THERMAL POWER PLANT USING SIMULATION IN SIGMA FLAME

¹Cherginets O.A., ¹Dvorovenko I.V., ^{1,2}Bogomolov A.R., ¹Temnikova E.Yu.

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, e-mail: teu.pmahp@kuzstu.ru;

²S.S. Kutateladze Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

The modeling of the furnace processes of the TP-87 boiler of the Novo-Kemerovo thermal power plant was carried out using the Sigma Flame application software package. The temperature distribution in the furnace chamber is obtained under operating conditions close to reality and using a combined method. Under operating conditions close to reality, the gas temperature in the center of the horizontal section of the furnace in front of the screen superheaters at the level of the aerodynamic projection is 1434°C, and at the base of the screens 1203°C, this indicates that the upper part of the screen superheater, as well as the convective stages of the superheater located further along the gas path are located in the zone of active slagging. The combined method included the dismantling of the clamp, the use of pairwise counter-twisting of adjacent turbulent burners, the recirculation of flue gases into the upper part of the combustion chamber, the distribution of flow characteristics between the nozzles. The use of the combined method makes it possible to reduce the temperature of flue gases in front of convective heating surfaces below the temperature of the beginning of softening (1200°C), which will prevent slagging in the upper part of the combustion chamber, at the same time, the absolute enthalpy of combustion products, taking into account recirculation gases, will be sufficient to heat steam, air and water in convective heating surfaces.

Keywords: slagging, flue gas temperature reduction, modeling, Sigma Flame

Котельные агрегаты большинства электрических станций Сибири запроектированы на каменные угли марки «СС» Кузнецкого месторождения, отличающиеся от других углей высоким содержанием золы и ее абразивностью, тугоплавкостью и низкой влажностью [1].

Геологические запасы слабоспекающихся углей и близкие к ним по энергетическим характеристикам марки «Т», «ТС» и «А» на действующих угледобывающих предприятиях Кузбасса превышают 2 млрд т. Однако из-за повышенного спроса на вну-

треннем и мировом рынках эти марки обрабатываются высокими темпами и почти в полном объеме отправляются на экспорт [2]. В связи с этим энергетические предприятия Кузбасса, в том числе и Ново-Кемеровская ТЭЦ, были вынуждены перейти на сжигание длиннопламенных и газовых углей марок «Д», «ДГ» и «Г», которые хорошо разведаны, добываются более доступным открытым способом, обеспечивают более чем двукратное увеличение добычи угля в Кемеровской области и обладают невысокой стоимостью.

Переход на сжигание непроектного топлива позволил снизить выбросы окислов азота в атмосферу, сократить трудозатраты по приготовлению пыли, так как уголь марки «Д» имеет низкие показатели по механической прочности на истирание, и повысить надежность обеспечения Ново-Кемеровской ТЭЦ топливом.

Несмотря на перечисленные очевидные достоинства перехода на непроектное топливо, есть и недостатки. Угли марок «Д», «ДГ» и «Г» по сравнению со слабоспекающимися углями обладают большими шлакующими свойствами и вызывают интенсивное шлакование топочной камеры и радиационных поверхностей нагрева, расположенных в выходном окне топочной камеры, что приводит к частым аварийным остановам котельных агрегатов и влечет за собой экономические убытки, связанные с ограничением мощности и снижением выработки котельного агрегата, ухудшением технико-экономических показателей, а также высокими затратами на останов котельных агрегатов и проведение стояночной расшлаковки.

Образование шлаковых наростов обусловлено налипанием частиц расплавленной или размягченной под действием высокой температуры золы на поверхности нагрева котла, имеющие более низкие температуры. Для используемого на станции угля марки «Д» температура деформации (плавления) частиц золы уноса составляет 1270 °С, поэтому для предотвращения шлакования температура дымовых газов должна быть на 70–80 °С ниже и составлять порядка 1200 °С. Поддержание такой температуры дымовых газов перед радиационными поверхностями нагрева может осуществляться подачей газов рециркуляции из конвективного газового тракта с применением специальных сопел, расположенных в определенных местах, под различным углом атаки и выполняющих функцию регулирования.

Проведение натурных исследований по разработанному алгоритму многофункциональной схемы для нахождения мест, количества, угла наклона и поворота сопел в котлоагрегате требует значительных трудовых затрат.

Поскольку натурные исследования процессов в котлоагрегате трудоемки и затратны в отличие от моделирования с применением программных топочных средств, имеющихся на рынке, целью работы является определение фактических температур процессов внутри котлов ТП-87 Ново-Кемеровской ТЭЦ на основе моделирования про-

цессов по натурным габаритам котельного агрегата в пакете прикладных программ Sigma Flame.

Материалы и методы исследования

Для расчетов был использован свободно распространяемый программный комплекс «Sigma Flame», который применяют для решения задач гидродинамики и теплообмена на основе моделирования взаимосвязанных физических процессов, который содержит в себе весь необходимый инструментарий для создания расчетных сеток, проведения многопоточных вычислений и полноценного анализа результатов расчета [3].

Программный комплекс «Sigma Flame» состоит из трех основных модулей: модуль подготовки расчета, расчетный модуль, модуль анализа результатов. Модуль подготовки расчета включает в себя генератор сетки и модуль задания граничных и начальных условий, теплофизических параметров и параметров математической модели [3].

В расчетном модуле реализованы математические модели, описывающие стационарные и нестационарные ламинарные и турбулентные одно- и многокомпонентные течения сопряженного и лучистого теплообмена [3].

Для проведения анализа результатов расчета программный комплекс включает в себя модуль 3D-визуализации, позволяющий отображать скалярные значения физических величин в произвольных сечениях в виде изоповерхностей и графиков вдоль выбранных отрезков, значения векторных физических величин в произвольных сечениях – в виде поля векторов, геометрию расчетной области и ее сеточную дискретизацию [3].

В программе создана трехмерная модель котельного агрегата (рис. 1) по натурным габаритам и смоделированы топочные процессы, происходящие в нем.

Результаты исследования и их обсуждение

При близких к реальности режимных условиях было получено распределение температур в топочной камере (рис. 2, 3), по которым видно, что температура газов в центре горизонтального сечения топки перед ширмовыми пароперегревателями (на уровне аэродинамического выступа) составляет 1434°, а у основания ширм 1203°, что свидетельствует о том, что верхняя часть ширмового пароперегревателя, а также расположенные далее по газовому тракту конвективные ступени пароперегревателя расположены в зоне активного шлакования.

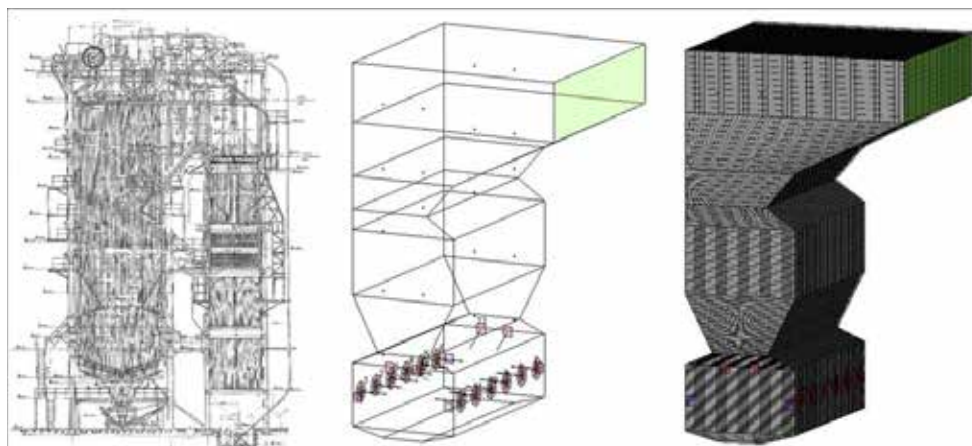


Рис. 1. Чертеж котельного агрегата ТП-87; 3D-модель котельного агрегата ТП-87; построение сеточной области (1 млн ячеек)

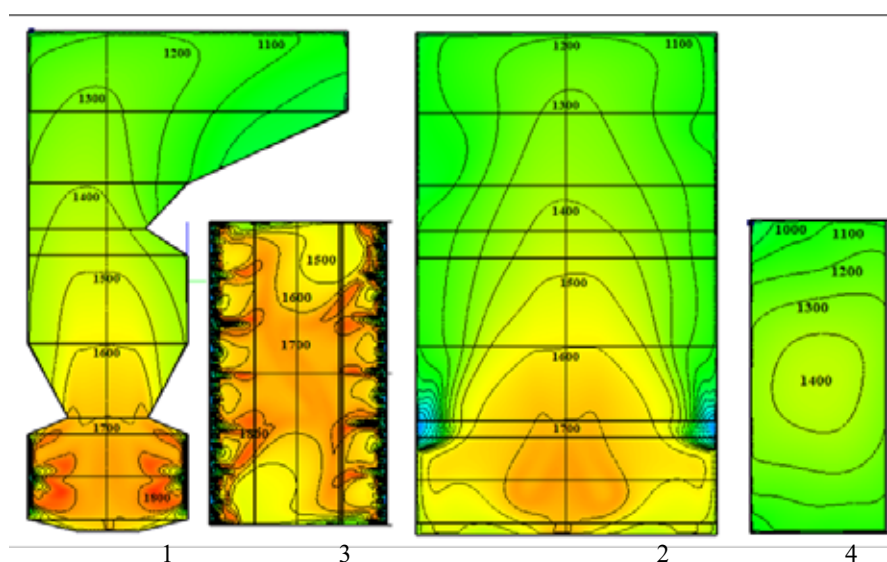


Рис. 2. Распределение температур в осевых сечениях топки: 1 – по продольному сечению; 2 – по поперечному сечению; 3 – по сечению на уровне горелок (отметка по высоте 9,15 м); 4 – по сечению на уровне аэродинамического выступа (отметка по высоте 21,9 м)

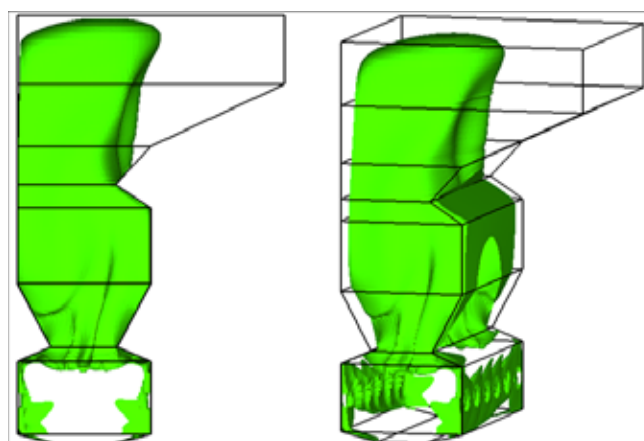


Рис. 3. Изоповерхность с температурой $T = 1200^\circ$

Полученные значения температур в объеме топочной камеры, а также значения коэффициента избытка воздуха на выходе из топки соответствуют фактическим параметрам, измеренным экспериментальным методом, что подтверждает верификацию модели и свидетельствует о том, что модель близка к реальной и может быть использована для дальнейшего анализа.

Поскольку причинами повышения температуры в топке являются несоответствие конструктивных параметров топки характеристикам сжигаемого топлива, нарушение оптимального воздушного и топливного режимов работы котельного агрегата, а также различные изменения других режимных факторов, таких как избыток воздуха, тонина помола и др., то большинство мероприятий по уменьшению шлакования направлены на снижение температуры дымовых газов в местах усиленного шлакования за счет регулирования вышеприведенных факторов.

В современной литературе существует множество методов, направленных на снижение локальной температуры и, как следствие, снижение локального шлакования, таких как: подача среды с более низкой температурой в места усиленного шлакования [2, 4], повышение избытка воздуха в топке [2, 4, 5], снижение присосов в топку [5, 6], изменение тонины помола [4], регулирование положения факела в топке [2, 4, 5], обеспечение оптимального воздушно-топливного режима [4, 5] и т.д.

Все методы имеют как преимущества, так и недостатки и снижают температуру перед ширмовыми пароперегревателями с разной эффективностью.

Для снижения шлакования ширмовых пароперегревателей котлов ТП-87 был разработан комбинированный метод, включающий в себя следующие мероприятия:

- демонтаж пережима, предназначенного для интенсификации процесса горения, и, как следствие, снижение температуры на выходе из топки за счет перераспределения продуктов сгорания по всему сечению топочной камеры;

- применение попарной встречной крутки смежных турбулентных горелок, позволившей снизить профиль температур дымовых газов за счет изменения крутки воздушных потоков горелочных устройств и перераспределения процессов горения в топке;

- рециркуляция дымовых газов в верхнюю часть топочной камеры, позволившая снизить температуру за счет внесения дополнительной среды с более низкой температурой. Подача газовой среды сравнительно низкой температуры в места усиленного шлакования была осуществлена при помощи сбросных сопел в количестве 5 шт., расположенных на заднем экране под аэродинамическим выступом (рис. 4, 2 – синий цвет);

- распределение расходных характеристик между соплами, позволившее распределить горение по всему сечению и снизить уровень температур в центре топочной камеры.

В этом методе учтены все недостатки и собраны все преимущества, присущие иным приведенным ранее методам. Применение комбинированного метода позволяет снизить температуру дымовых газов перед конвективными поверхностями нагрева ниже температуры начала шлакования (ниже 1200 °С), что позволит предотвратить шлакование в верхней части топочной камеры. При этом абсолютная энтальпия продуктов сгорания с учётом газов рециркуляции будет достаточна для нагрева пара, воздуха и воды в конвективных поверхностях нагрева.

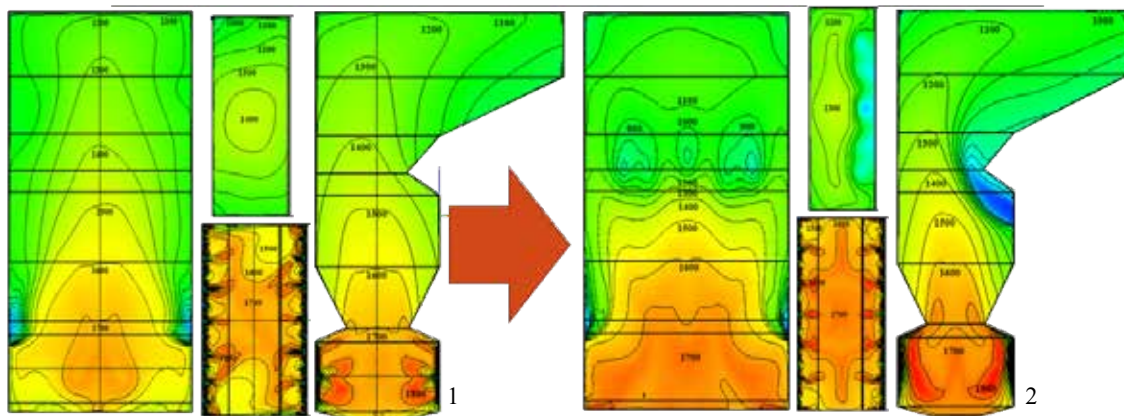


Рис. 4. Распределение температуры в осевых сечениях топки:
1) исходный вариант; 2) при использовании комбинированного метода

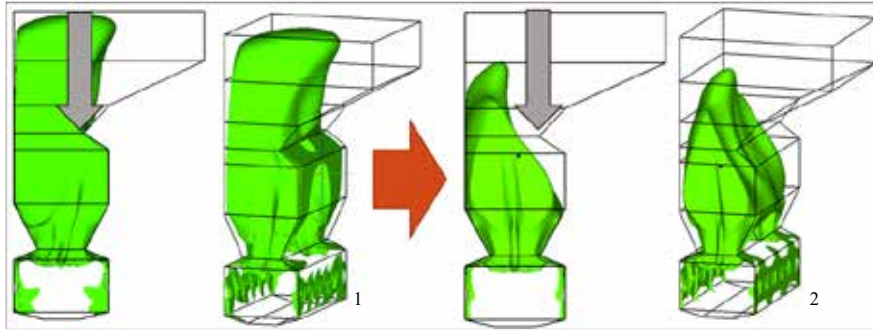


Рис. 5. Исоповерхность с температурой $T=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$:
1) исходный вариант; 2) при использовании комбинированного метода

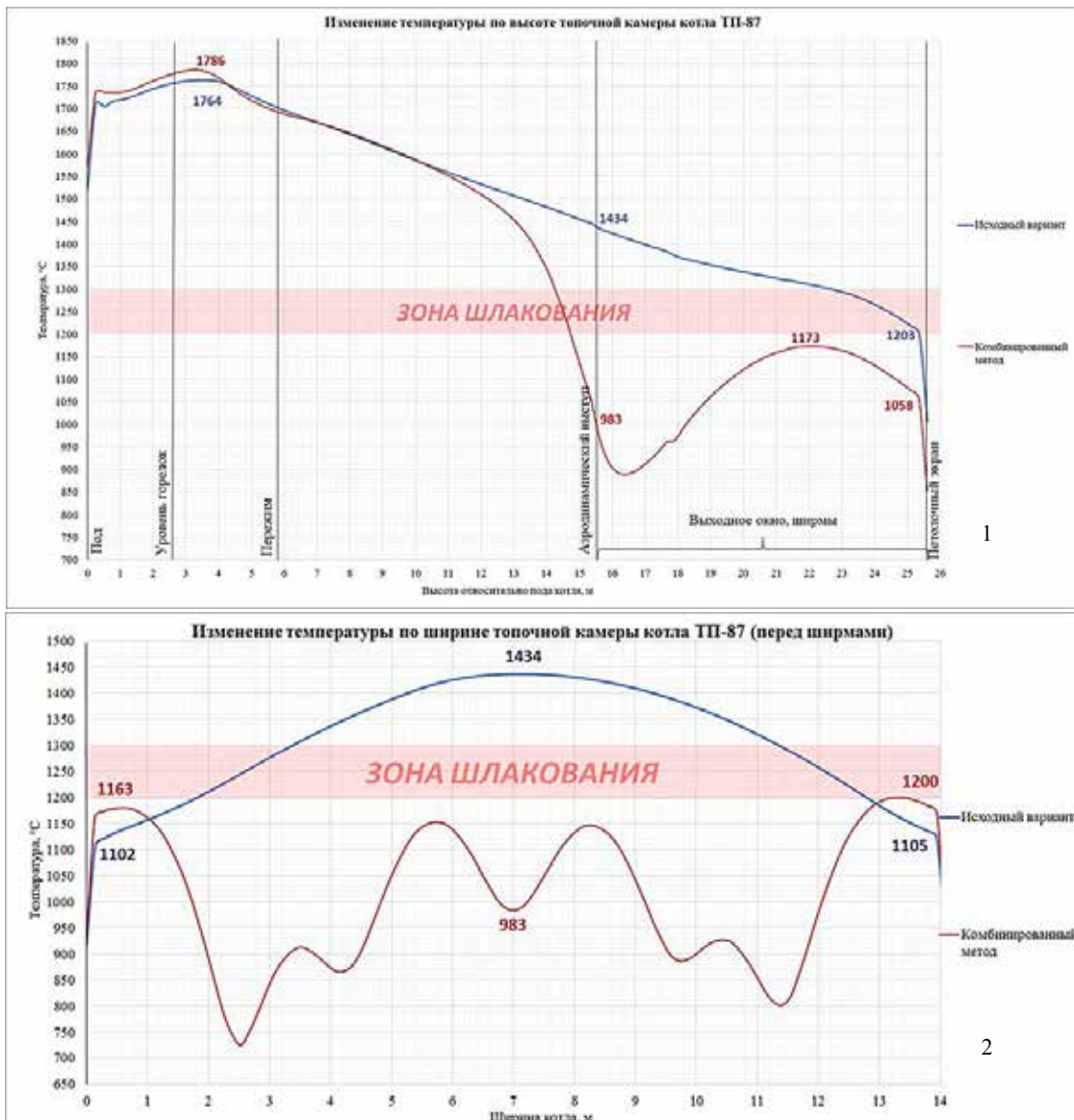


Рис. 6. Изменение температуры газов: 1) по высоте топочной камеры при комбинированном методе и одностороннем расположении на заднем экране под аэродинамическим выступом по сравнению с исходным вариантом; 2) по ширине топочной камеры в сечении перед ширмами в районе аэродинамического выступа при комбинированном методе и одностороннем расположении на заднем экране под аэродинамическим выступом по сравнению с исходным вариантом

Распределение температур в объеме топочной камеры приведено на рис. 4, изотермическая поверхность с температурой начала шлакования раной 1200 °С – на рис. 5, изменение температуры газов по высоте топочной камеры и по ширине газохода перед аэродинамическим выступом – на рис. 6.

Заключение

Таким образом, метод численного моделирования, рассмотренный в данной статье, является менее трудоемким и экономически затратным по сравнению с экспериментальными исследованиями, дает полную подробную информацию с учетом всех процессов, происходящих внутри котельного агрегата, позволяет решать проектно-конструкторские задачи при проектировании новых и модернизации существующих котельных агрегатов, а также решать множество проблем, возникающих во время эксплуатации энергетического котла, таких как шлакование поверхностей нагрева, вредные выбросы и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке в соответствии с дополнительным

соглашением о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (внутренний номер 075-ГЗ/Х4141/687/3).

Список литературы

1. Чурашев В.Н. Альтернативы развития Кузнецкого угольного бассейна // Регион: экономика и социология. 2012. Т. 74. № 2. С. 206–226.
2. Хзмаян Д.М., Каган Д.М. Теория горения и топочные устройства: учебное пособие. М.: Энергия, 1976. 488 с.
3. Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Гаврилов А.А., Харламов Е.Б., Филимонов С.А. Свободно распространяемый программный комплекс SIGMA FW для моделирования гидродинамики и теплообмена // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2017. № 10 (4). С. 534–542.
4. Алехнович А.Н. Шлакование пылеугольных энергетических котлов: учебное пособие. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2013. 116 с.
5. Мейкляр М.В. Паровые котлы с естественной циркуляцией: учебное пособие для машиниста парового котла. М.: Госэнергоиздат, 1955. 279 с.
6. Гулей А.Б., Ключка Е.П. Оценка зависимости температуры дымовых газов на выходе из топки парового котла ТП-81 от нерасчетных присосов воздуха через неплотности в ограждении топки // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2014. № 4. С. 39–51.