УДК 621.181:519.876

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-2/06>**Гулей А.Б.**

Украинская инженерно-педагогическая академия

Ключка Е.П.

Украинская инженерно-педагогическая академия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ УГЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТОПКИ КОТЛА ТПП-312А

Актуальність дослідження полягає в тому, що для енергетики України необхідна розробка методів оцінки і прогнозу стану котельних установок ТЕС, в яких здійснюють перехід на непроектне низькосортне вугілля.

Метою дослідження є підвищення можливості адекватної оцінки теплового стану топки для запобігання шлакуванню поверхонь теплових екранів у разі використання вугілля різної вологості.

На підставі результатів огляду літератури з теми дослідження показано, що для вирішення проблеми необхідні розрахунково-теоретичні методи аналізу стану топки, засновані на досвіді практичної експлуатації котлів та математичних моделях, які у свою чергу побудовані на фізичних принципах процесів тепломасообміну в топці котла.

Предметом дослідження є вплив зміни вологості вихідного вугілля на температури димових газів на рівні поду топки, на рівні газового вікна на виході з топки та на рівні факела палаючого палива, що дає підставу для аналізу умов шлакування поверхонь теплових екранів.

Завданням дослідження є оцінка можливостей варіанту зонального методу розрахунку тепломасообміну в топці парового котла (автор Е.С. Карасіна) у дослідженні впливу вологості вугілля на шлакування поверхонь теплообміну в паровому котлі ТПП-312А.

Методикою дослідження є математичне моделювання за допомогою спеціальної програми (на ПЕОМ) для варіанту зонального методу розрахунку процесу згорання вугілля в топці котла. При цьому використовують вугілля різної вологості за умови постійної величини зольності (за умови постійної величини корисного виділення тепла в топці).

Ключові слова: температура, математична модель, зона, димові гази, топка, котельна установка, вологість вугілля, шлакування поверхонь, факел палаючого палива, радіаційні властивості, газове вікно, випромінювання, баланс теплоти.

Постановка проблемы. Угольные тепловые электростанции (ТЭС) занимают важное место в энергетике Украины, обеспечивая более 40% общего годового производства электроэнергии [1, с. 27].

Практика сжигания энергетического угля на ТЭС затрудняется устойчивой тенденцией понижения качества углей. За время эксплуатации сегодняшнего парка котлов теплота сгорания угля на ТЭС уменьшилась в 1,5 раза [2, с. 125] по сравнению с теплотой сгорания проектного угля, что привело к снижению КПД котлов. Основным механизмом этого явления является увеличение балласта – содержания золы и влаги в составе угля.

Из опыта эксплуатации котельных установок (далее – КУ) известно, что при изменении свойств

топлива возникают проблемы, обусловленные несоответствием топок КУ изменившимся характеристикам угля.

В число важнейших показателей качества угля входит массовая доля влаги в его рабочей массе W^p . Влага топлива снижает его теплоту сгорания, увеличивает затраты на перевозку, создает значительные трудности при размоле, сжигании и уменьшает величину КПД котла.

Условием стабильного сжигания пылевидного угля является поддержание теплового баланса топki при температуре, обеспечивающей жидкое шлакоудаление. Увеличение влажности угля приводит к нарушению условий баланса и проблемам шлакоудаления.

Влажность топлива оказывает существенное влияние на теоретическую адиабатную температуру Θ_a процесса в топке, понижая ее величину и негативно воздействуя на сам процесс горения. Так, при изменении влажности бурых углей от $W^p = 10\%$ до $W^p = 45\%$ рассчитанная адиабатная температура в топке уменьшилась от $\Theta_a = 1900^\circ\text{C}$ до $\Theta_a = 1600^\circ\text{C}$ [3, с. 62].

Для кузнечных углей расчеты показали, что на каждый процент повышения содержания влаги адиабатная температура снижается на 6°C [4, с. 76]. Ту же тенденцию подтверждают оценки влияния W^p на Θ_a высокорекреационных углей: уменьшение W^p на 10% повышает Θ_a в пределах от 100°C до 160°C , а температуру в ядре факела – от 85°C до 130°C [5, с. 2].

С увеличением W^n угля значительно снижается величина Q_n^p ввиду затраты теплоты на испарение влаги. В результате снижается температура продуктов сгорания в зонах воспламенения и горения, вследствие чего уменьшается скорость горения и увеличивается механический недожог. Также с ростом W^n повышаются потери с уходящими газами.

Таким образом, для каждого типа КУ необходимо принимать технические и технологические решения в зависимости от характеристик используемых углей. Но переход на непроектные угли нуждается в предварительной оценке возможных его условий и последствий. По результатам такого оценивания оптимизируют поиск замещающих углей, на начальных этапах прогнозируют значимые последствия смены топлива [8, с. 64, с. 97], что уменьшает затраты на экспериментальную проверку предложенных решений.

Чисто экспериментальное решение подобных задач практически неосуществимо. Так, важные характеристики процесса горения не могут быть экспериментально с необходимой точностью оценены на работающем котле. На сегодня не существует достаточной номенклатуры высокотемпературных датчиков состояния физических тел и элементов оборудования в топках КУ. Тем более что многие характеристики КУ, в принципе, недоступны непосредственному контролю. А косвенные их оценки далеко не всегда могут обеспечить необходимую точность в силу того, что отсутствуют адекватные математические модели [6, с. 25, с. 48], [7, с. 177, с. 204, с. 212], а также возможность с удовлетворительной точностью получать экспериментальные оценки краевых условий для моделей [6, с. 21, с. 22].

Отсюда следует, что для решения проблемы необходимы расчетно-теоретические методы ана-

лиза состояния КУ, основанные на опыте практической эксплуатации и построенных на физических принципах математических моделях происходящих в них процессов тепломассообмена.

Анализ последних исследований и публикаций. Формально одним из основополагающих методов сегодня является нормативный метод «Тепловой расчет котлов» [9]. Этот метод в принципе дает возможность получать оценки необходимых характеристик теплообмена в топках КУ. Но идеализированная одномерная схема топочного процесса и ряд предположений, которые лежат в ее основе, недостаточно соответствуют реальным условиям работы топок КУ.

Так, в [10] отмечается, что нормативный метод базируется на применении теории подобия к процессам теплообмена, в результате чего теплообмен определяется в зависимости от безразмерных критериев Больцмана (Bo) и критерия Бугера (Bu) в [9]. Фактически, это эмпирический метод с многочисленными, не всегда физически обоснованными поправками от конструктивных, режимных и прочих факторов, а также от свойств топлива. Кроме того, соотношение критериев Bo и Bu индивидуально для каждого котла и обобщающая его зависимость могут дать грубое приближение.

Также в [10] делается вывод, что при подготовке эксперимента по сжиганию непроектного угля необходимо использовать компьютерную модель горения в топке, построенную на физически обоснованных принципах.

Постановка задачи. Для выполнения исследования влияния влажности угля на характеристики топок КУ необходимо использовать методы расчета теплового состояния этих топок при работе на непроектных углях. Методы должны основываться на модели тепломассообмена, построенной на физически обоснованных принципах и использовать данные, полученные при практической эксплуатации КУ.

Моделирование процесса тепломассообмена в топке выполняется на основе информации о составе рабочей массы исходного угля и необходимых технологических характеристиках топки КУ. Критерии оценки полученных результатов должны соответствовать условиям отсутствия шлакования поверхностей топки при ее работе с топливом переменной влажности.

Изложение основного материала исследования. На основании результатов обзора литературы нами был сделан вывод о том, что поставленным условиям отвечает модель зонального метода расчета теплообмена, предложенная в [11],

[12]. Поэтому в нашей работе мы использовали вариант зонального метода [11, с. 42, 45], который разработан для расчета лучистого теплообмена в топке котла. В основу метода положены работы Э.С. Карасиной и соавторов [12 с. 25, с. 30; 13, с. 40], которые успешно использовались для расчета лучистого теплообмена в топках котлов [12].

В математической модели, используемой в методе, в результате условного деления топки на ряд объемных и поверхностных зон действительные непрерывные поля температуры и физических характеристик тел заменяются конечным числом ступенчато-прерывных однородных участков, в пределах которых температура и все физические характеристики сред могут быть приняты постоянными.

Интегральные уравнения теплообмена излучением заменяются при этом конечной системой алгебраических уравнений. Из решения этой системы уравнений совместно с уравнениями массопереноса, конвективного теплообмена и горения определяются все неизвестные характеристики, в том числе температуры и тепловые потоки между зонами.

Для каждой пары зон: объемная – объемная, объемная – поверхностная и поверхностная – поверхностная, определяются коэффициенты лучистого переноса согласно [11], [12].

Для каждой объемной и поверхностной зоны записывается уравнение теплового баланса. В уравнение объемной зоны, кроме членов, определяющих ее теплообмен излучением с остальными зонами, входят также члены, учитывающие тепловыделение от сгорания топлива и от изменения энтальпии топочных газов. При решении системы уравнений вычисляются температуры в объемных зонах и тепловосприятие каждой поверхностной зоны.

Исходные эмиссионные свойства топочной среды основаны на данных [9]. Для уточнения излучения золовых частиц были проведены экспериментальные исследования [13]. В них оценено ослабление излучения в пылевоздушном потоке, причем пробы золы представляли основные энергетические угли СНГ. Также в модели учитывается и рассеяние лучей частицами.

Система нелинейных балансовых уравнений, число которых равно сумме объемных и поверхностных зон, решается численными методами.

Моделирование решения поставленной задачи выполнено на примере исследования сжигания исходного угля (марка Г, № 23, Донецкий бассейн [9, с. 124].) в топке котла ТПП-312А на номинальном режиме его работы.

Для этого необходимы данные о характеристиках топки, а также результаты теплового расчета топки на заданной марке угля, необходимые в качестве исходных условий модели горения в топке. Этот расчет выполнялся по Нормативному методу [9] с целью оценки КПД котла, расхода топлива и других характеристик для моделирования работы топки.

Схема и конструктивные характеристики котла соответствуют данным [14], принципиальная схема котла приведена на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная схема котла

Паровой котел ТПП-312А прямоточный, сверхкритического давления рабочего тела, с промежуточным перегревом пара. Он вырабатывает пар с давлением 25 МПа и температурой 545°C. Расход перегретого пара 263,9 кг/с (950 т/ч), расход вторичного пара – 216,7 кг/с (номинальный режим).

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топка открытая, однокамерная, прямоугольного сечения. В верхней части камеры (под перевалом на высоте 15,2 м) вводятся дымовые газы рециркуляции.

Геометрические размеры топки: высота 42 м × ширина 17 м × глубина 8,7 м. Высота до ширмового пароперегревателя – 34 м. Размеры газового окна: 9 м×17 м. Объем топки – 5100 м³. Высота оси горелок – 3,36 м.

Подовые экраны и НРЧ до отметки 14 м покрыты зажигательным карборундовым поясом. Топка оборудована восьмью вихревыми горелками, встречно расположенными в один ярус на фронтальной и задней стенках.

Шлакоудаление жидкое через две охлаждаемые летки в поду топки.

Приведённая влажность угля: $W^p = 0,51\%$ кг/МДж.

Свойства золы угля [9, с. 127]: $t_A = 1180^\circ\text{C}$; $t_B = 1240^\circ\text{C}$; $t_C = 1300^\circ\text{C}$. $t_{н. ж. ш. у.} = 1450^\circ\text{C}$; $t_{н. шл.} = 980^\circ\text{C}$. Фракционный состав золы – 16,6 мкм.

Температуры уходящих газов, холодного воздуха, коэффициент избытка воздуха, а также величины q_4 принимают следующие значения:

$$t_{х.в.} = 30; t_{yx} = 150; \alpha_{yx} = 1,51; q_4 = 0,5\%.$$

В результате расчета по нормативному методу получены следующие характеристики: КПД котла брутто $\eta_{бр} = 91,65\%$; полезно использованная теплота в топке $Q_1^p = 636907$ кВт; расчётный расход топлива $B_p = 39,8$ кг/с.

Анализ влияния одного из компонентов балласта топлива в нашем случае предполагает фиксацию содержания в угле зольности при заданном изменении влажности. В принципе, это возможно за счет применения разомкнутой схемы пылеприготовления с использованием сушилок. Но при этом расход золы в топке включает и переменную долю, определяемую изменением расхода угля для вариантов влажности, что приводит к дополнительному тепловому эффекту. Этот эффект отвечает реальным условиям горения в топке, и его невозможно исключить.

В нашем случае при моделировании влажности угля изменяют от $W^p = 8\%$ до $W^p = 29\%$ с шагом 3%. Величина зольности постоянна $A^p = 22,3\%$.

Принимаем величину $\eta_{бр}$ зависящей от влажности на всем диапазоне изменения W^p . По данным [15] и нашим оценкам, повышение влажности угля на 1% понижает $\eta_{бр}$ парогенератора в пределах от 0,07% до 0,1%. Принимаем, что изменение $\eta_{бр}$ составляет 0,1% на 1% изменения W^p .

Таким образом, все необходимые для теплового расчета топki конструктивные и режимные характеристики КУ и расчетные характеристики топлива известны. Результаты расчетов W^p , $\eta_{бр}$, и B_p приведены в табл. 1.

Для решения поставленной в работе задачи необходимы оценки температурных полей дымо-

вых газов в объеме топki. Их получение сводится к решению многофакторной, стационарной, нелинейной, неоднородной и трехмерной задачи тепло-массообмена. Решение этой задачи выполняем с использованием зонального метода [11], [12].

В работе [13] автор указывает на то, что тестирование метода по результатам исследований большого количества котлов в ВТИ, УралВТИ, и по данным испытаний зарубежных котлов показало хорошее соответствие.

Схема аппроксимации объема топki для котла ТПП-312А показана на рис. 2, где топка разбита на объемные зоны (блоки). В свою очередь каждый блок разбит на кубы одинакового размера (на рисунке не показаны), в пределах которых температура и оптико-геометрические характеристики среды принимаются постоянными. При этом размеры блоков кратны величине ребра куба, которая вычисляется для каждого случая.

Рис. 2. Схема аппроксимации блоками объема топki котла ТПП-312А

Таблица 1

Расчетные характеристики топлива и $\eta_{бр}$ топki

Варианты	1	2 (базовый)	3	4	5	6	7	8
$W^p, \%$	8	11	14	17	20	23	26	29
$Q_n^p, \text{кДж/кг}$	22747	21378	20789	18235	19290	17209	16146	15091
$\eta_{бр}, \%$	91,95	91,65	91,35	91,05	90,75	90,45	90,15	89,85
$B_p, \text{кг/с}$	31,77	33,44	35,305	37,33	39,63	42,19	45,09	48,43

Интегральные уравнения теплообмена излучением в топке заменяются при этом конечной системой нелинейных балансовых алгебраических уравнений. Из решения этой системы определяется пространственное поле температур дымовых газов, которое соответствует температурам кубов. Такой подход существенно повышает физическую адекватность модели теплообмена в топке и дает возможность ее более детального исследования.

Схема аппроксимации объема топки блоками по осям координат задана следующим образом: $X \times Y \times Z = 4 \times 3 \times 11$. В итоге: количество блоков аппроксимации – 144, количество кубов – 828. Размер ребра куба равен 1,804 м.

Для решения поставленной задачи нами были использованы возможности свободно распространяемого программного обеспечения (СРПО), которое включает программы, ориентированные на моделирование теплоэнергетических систем. К СРПО относится и вычислительная программа «Furnace (KGTU)», разработанная под руководством д.т.н. Е.А. Бойко (Красноярский государственный технический университет) [15]. Программа предназначена для использования при наладке и эксплуатации топок паровых котлов и позволяет проводить вычислительные эксперименты. В ней реализован метод расчета теплообмена [12]. Для горелок задаются распределения подаваемого в топку воздуха и дымовых газов (двумерные) по глубине и высоте топки. Также задается распределение воздуха и аксиальных массовых скоростей газов в каждом горизонтальном слое.

В программе введена «изотермическая проверка» – сравнение степени черноты объема топки, полученной суммированием тепла излучения от всех объемных зон при одинаковой температуре в них, со степенью черноты, рассчитанной по эффективной толщине газового слоя. Расхож-

дение должно быть не более 10%, но обычно оно не превышает 5%.

Полученная при расчете система нелинейных балансовых уравнений решается методом Ньютона–Рафсона и требует трех – шести итераций.

Результаты оценки температур пода дымовых газов топки в зависимости от влажности угля приведены в табл. 3 и на рис. 3. Здесь t_{min} пода для блока с координатами ($Z=1$; $X=1$; $Y=1$) – это минимальный уровень температур в зоне пода топки (блок на максимальном расстоянии от оси факела).

Для гарантированного шлакоудаления минимальная температура дымовых газов в районе летки должна быть не ниже температуры нормального жидкого шлакоудаления $t_{н.ж.ш.у.}$. Обычно дается ее завышенная оценка (запас до 10%), которая в целом может быть применена для расчетов [17, с. 140]. Также можно использовать и t_c – температуру жидкоплавкого состояния или растекания шлака топлива: $t_{сшл} = t_c + 100^\circ\text{C}$ [9]. Для выбора из этих температур необходимо учитывать состав угля [17, с. 142].

Из результатов расчетов следует, что величине заданной температуры жидкоплавкого состояния $t_{сшл} = 1300^\circ\text{C}$ удовлетворяют температуры газов для всех значений влажности. В свою очередь величине заданной температуры $t_{н.ж.ш.у.} = 1450^\circ\text{C}$ не удовлетворяют температуры газов при влажности 26% и 29%.

Температуры t_{max} факела горящего топлива в зависимости от изменения влажности угля приведены в табл. 4 и на рис. 3. Здесь t_{max} факела для блока с координатами ($Z=2$; $X=2$ и 3; $Y=2$) – это максимальный уровень температур по оси факела.

Как следует из данных табл. 4, максимальная температура факела по мере роста влажности падает в среднем на $6,7^\circ\text{C}$ на 1% увеличения

Таблица 2

Данные, необходимые для программы «FURNACE» (не приведены в тексте)

1	Общая поверхность нагрева стен топки, м^2	2407
2	Рабочая масса топлива и его Q_p^0 , МВт/кг	В зависимости от влажности
3	Коэффициент избытка воздуха α_T	1,15
4	Коэффициент уноса золы $\alpha_{ш}$	0,8
5	Фракционный состав золы, мкм	16
6	Влажность воздуха, г/кг	10
7	Поглощательная способность стен топки	0,75
8	Средняя температура воздуха, поступающего в топку, $^\circ\text{C}$	320
9	Температура пароводяной смеси в экранных трубах, $^\circ\text{C}$	405
10	Температура газов рециркуляции (верхней и нижней) и их доли, $^\circ\text{C}$	420; 0,07; 0
11	Распределение выгорания топлива по оси Z:	$Z=2$, $\varphi=0,94$; $Z=3$, $\varphi=0,04$; $Z=4$, $\varphi=0,02$.
12	Степень загрязнения поверхностей нагрева	3,5;6.

Таблиця 3

Изменение температур дымовых газов $t_{\min}$ пода топки в зависимости от влажности угля

Влажность угля, W^P , %	8	11	14	17	20	23	26	29
Температуры газов $t_{\min}$ пода, °C	1530	1519	1506	1493	1477	1459	1440	1418

Рис. 3. Изменение температуры дымовых газов $t_{\min}$ пода топки и температуры $t_{\max}$ факела горящего топлива в зависимости от влажности угля

Рис. 4. Изменение максимальных и минимальных температур дымовых газов в плоскости газового окна на выходе из топки в зависимости от изменения влажности угля

влажности. Характер изменения этой температуры близок к линейному. Эти данные соответствуют результатам работ [7] и [8].

Оценки температуры дымовых газов на выходе из топки в зависимости от влажности угля приведены в табл. 5 и на рис. 4. Здесь $\theta_T'' \min$ выхода – температура блока с координатами ($Z=1$; $X=4$; $Y=12$) – это блок в верхнем правом (левом) углах газового окна; $\theta_T'' \max$ выхода – температура

блока с координатами ($Z=2$; $X=4$; $Y=11$) – это блок внизу по середине газового окна.

Из представленных результатов следует, что с ростом влажности средняя температура газов на выходе из топки падает в среднем на $0,4^\circ\text{C}$ на 1% влажности. Температурные градиенты по газовому окну достигают 130°C , средняя температура газов в нем недостаточно информативна для оценки возможности шлакования поверхностей.

Таблица 4

Изменение максимальных температур факела горящего топлива в зависимости от влажности угля

Влажность угля, W^p , %	8	11	14	17	20	23	26	29
Температуры t_{max} факела, °C	1832	1816	1799	1781	1761	1740	1716	1691

Таблица 5

Изменение максимальных, минимальных и средних температур дымовых газов на выходе из топки в зависимости от влажности угля

Влажность угля, W^p , %	8	11	14	17	20	23	26	29
Температуры Θ_T min выхода, °C	995	994	993	992	990	991	992	992
Температуры Θ_T max выхода, °C	1129	1127	1125	1123	1120	1119	1118	1117
Максимальный градиент температур газового окна, °C	134	133	132	131	130	128	126	125
Средняя температура газового окна, °C	1055	1054	1052	1051	1049	1048	1048	1048

В нашем случае температура начала шлакования $t_{н.ш.д.} = 980^\circ\text{C}$. Поэтому использование исходного угля при заданном режиме работы котла затруднено из-за шлакования поверхностей пароперегревателей за газовым окном. Потребуется мероприятия, предупреждающие это шлакование.

Выводы. В работе исследованы и проанализированы результаты использования варианта зонального метода расчета лучистого теплообмена в топке котла для оценки возможности применения непроектного угля на ТЭС.

Расчет характеристик горения в топке выполнен математическим моделированием процесса горения исследуемого угля переменной влажности при постоянном тепловыделении в топке. В результате получены оценки изменения температуры факела, температур дымовых газов на выходе из топки и на уровне пода топки в зависимости от величины влажности угля.

Характер и величины изменений этих температур физически непротиворечивы и соответствуют научным данным.

На основании этих оценок сделаны выводы о возможности шлакования пода топки и газового окна для исследованного угля и, соответственно, о возможности его использовании в данном котле.

Также показано, что поле температур газового окна характеризуется большими градиентами, что исключает возможность использования средних температур в этом окне для анализа его теплового состояния.

Анализ результатов обзора литературы и применения зонального метода расчета лучистого теплообмена в топке парового котла дает основания для рекомендации этого метода для оценки возможности использования углей с заданными свойствами на ТЭС.

Список литературы:

1. Подготовка угольного топлива для пылевидного сжигания на тепловых электростанциях. *Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб.* / Ю.Н. Филиппенко и др. 2013. Вип. 53 (94). С. 27–32.
2. Шуваева Н.М., Борисенко О.М., Борисенко О.А. Повышение эффективности подготовки к факельному сжиганию низкореакционных углей Украины. *Вестник Нац-техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып.: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование.* Харьков : НТУ «ХПИ». 2005. № 6. С. 124–129.
3. Белосельский Б.С., Барышев В.И. Низкосортные энергетические топлива: особенности подготовки и сжигания. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 136 с.
4. Паршин А.А., Митор В.В., Безгрешнов А.Н. Тепловые схемы котлов. Москва : Машиностроение, 1987. 224 с.
5. Пылеприготовительные системы буроугольных котлов в СССР и за рубежом. Обзор. Энергетическое машиностроение. 2-78-14. Москва, 1978.
6. Бек Дж., Блэкуэлл Б., Сент-Клер Ч. Некорректные обратные задачи теплопроводности ; пер. с англ. Москва : Мир, 1989. 312 с.
7. Блох А.Г. Теплообмен в топках паровых котлов. Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1984. 240 с.

8. Томилов В.Г., Яганов Е.Н. Исследование влияния качества топлива на эффективность котельных агрегатов в условиях задачи изменения топливного баланса ТЭС. *Состояние и перспективы развития электротехнологии* : материалы Международн. научн.-техн. конф. Иваново, 2013. Том II: Теплоэнергетика. С. 94–97.
9. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. и дополн. / НПО ЦКТИ. Санкт-Петербург, 1998. 256 с.
10. Алехнович А.Н. Состояние и проблемы расчёта теплообмена в пылеугольных топках. *Электрические станции*. 2015. № 3. С. 32–36.
11. Карасина Э.С. Алгоритм и программа зонального расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. *Теплоэнергетик* / Э.С. Карасина и др. Москва, 1982. № 7. С. 42–50.
12. Развитие метода и программы трехмерного зонального расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов. *Теплоэнергетика* / А.А. Абрютин и др. 1998. № 6. С. 20–24.
13. Опыт применения программы трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов энергоблоков мощностью 350 и 575 МВт. *Теплоэнергетика* / Э.С. Карасина и др. 2010. № 10.
14. Волошенко А.В., Медведев В.В., Озерова В.В. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач ; Томский политехнический университет. Томск : изд-во Томского политехнического университета, 2011. 100 с.
15. Экономическая эффективность повышения качества угольного топлива. URL: <https://lektsii.org/18-74693.html>
16. Бойко Е.А. Программа трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. Руководство пользователя. URL: <http://enek.ru>
17. Влияние физико-химических характеристик золы на параметры жидкого шлакоудаления для угля донецкого бассейна. *Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика* : збірник наукових праць / А.Ю. Майстренко та ін. Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2009. Випуск 1. С. 129–148.

Huley O.B., Kliuchka Y.P. ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CHANGE OF COAL HUMIDITY ON THE TEMPERATURE REGIME OF THE FIREPLACE OF THE BOILER TPP-312A

The relevance of the study is that for the energy sector of Ukraine it is necessary to develop methods for assessing and forecasting the condition of boiler plants of thermal power plants, which carry out the transition to non-project low-grade coal.

The aim of the study is to increase the possibility of adequate assessment of the thermal state of the furnace to prevent slagging of the surfaces of thermal screens in the case of using coal of different humidity.

Based on the results of the literature review on the research topic, it is shown that the problem requires calculation and theoretical methods of analysis of the furnace, based on the experience of practical operation of boilers and mathematical models, which, in turn, are based on physical principles of heat transfer in the boiler furnace.

The subject of the study is the effect of changes in the humidity of the source coal on the flue gas temperature at the hearth of the furnace, at the level of the gas window at the outlet of the furnace and at the level of the burning fuel torch, which provides a basis for analysis of slag conditions

The objective of the study is to assess the possibilities of the zonal method of calculating heat and mass transfer in the furnace of the steam boiler (author Karasina ES) in the study of the influence of coal moisture on slag of heat exchange surfaces in the steam boiler TPP-312A.

The research method is mathematical modeling using a special program (on a PC) for a variant of the zonal method of calculating the process of coal combustion in the boiler furnace. With use coal of different humidity under the condition of constant ash content (under the condition of constant value of useful heat release in the furnace).

Key words: temperature, mathematical model, zone, flue gases, furnace, boiler installation, coal humidity, surface slag, burning fuel flare, radiation properties, gas window, radiation, heat balance.