

УДК 620.9:504.03

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

¹Салова Т.Ю., ²Тесленок С.К.

¹Военно-морской политехнический институт ВУНЦ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Николая Герасимовича Кузнецова», Санкт-Петербург, e-mail: salova_tus@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Пушкин, e-mail: hirurg87@mail.ru

Оптимальное распределение потоков энергоносителей, отпускаемых котельной установкой, определяется соотношением нескольких величин – циркулирующей воды в теплосети, суммарной нагрузкой потребителей, протяженностью и конструктивными особенностями сети. В связи с этим для обеспечения надежности и эффективности работы котельных установок необходимо исследовать тепловые сети. Повышение эффективности тепловых режимов котельных установок возможно с применением тепловых труб. Теплообменники на тепловых трубах эффективны также для утилизации теплоты топочных газов. Без измерения температуры теплоносителей и поверхностей агрегатов энергоустановок невозможна эффективная безопасная работа оборудования котельных установок систем теплоснабжения. Повышение точности измерения температуры газового потока, тепловой системы котла и теплоснабжения при упрощении процесса измерения решается применением разработанного способа и устройства тепловизионного определения характеристик теплоотдачи. Применение разработанного устройства значительно сокращает время обследования и значительно упрощает его, замеры параметров теплоотдачи производятся одновременно с тепловизионной съемкой. Предложенный диапазон соотношения площади преобразователя температуры, суммарной площади датчиков и площади выступов позволяет при достаточной точности измерения температурного поля газового потока, омывающего исследуемое твердое тело, минимизировать вносимые искажения в тепловой поток с улучшением качества изображения температурного поля на мониторе тепловизора. Предлагаемое устройство позволяет определить одновременно несколько важных параметров теплового потока: величину теплового потока от технологической поверхности твердого тела, температуру газового потока и коэффициент теплоотдачи от технологической поверхности твердого тела. Определение этих характеристик в динамическом режиме позволяет создавать оптимальное распределение потоков энергоносителей в энергоустановках.

Ключевые слова: энергоустановки, температурный режим, тепловизор, теплообмен

THE STUDY OF METHODS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF POWER PLANTS

¹Salova T.Yu., ²Teslenok S.K.

¹Naval polytechnical institute of VUNTs «Naval Academy of a Name of the Admiral of the Fleet of the Soviet Union Nikolay Gerasimovich Kuznetsov», St. Petersburg, e-mail: salova_tus@mail.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Agrarian University», Pushkin, e-mail: hirurg87@mail.ru

The optimal distribution of energy flows released by the boiler plant is determined by the ratio of several values – water circulation in the heating system, the total load of consumers, the length and design features of the network. In this regard, to ensure the reliability and efficiency of boiler plants, it is necessary to investigate the heat network. Increase in efficiency of the thermal modes of boiler installations is possible with application of thermal pipes. Heat exchangers on thermal pipes are effective also for utilization of warmth of furnace gases. Without measurement of temperature of heat carriers and the surfaces of units of power stations effective safe operation of the equipment of boiler installations, the systems of heat supply is impossible. Increase in accuracy of measurement of temperature of a gas stream, thermal system of a copper and heat supply at simplification of process of measurement is solved application of the developed way and the device of thermovision definition of characteristics of a thermolysis. The use of the developed device significantly reduces the inspection time and greatly simplifies it, measurements of heat transfer parameters are made simultaneously with thermal imaging. The proposed range of the ratio of the area of the temperature Converter, the total area of the sensors and the area of the projections allows, with sufficient accuracy of measuring the temperature field of the gas flow washing the solid, to minimize the distortion in the heat flow with improved image quality of the temperature field on the monitor of the thermal image. The proposed device makes it possible to determine several important parameters of the heat flow simultaneously: the value of the heat flow from the technological surface of the solid, the temperature of the gas flow and the heat transfer coefficient from the technological surface of the solid. Determination of these characteristics in dynamic mode allows to create an optimal distribution of energy flows in power plants.

Keywords: power stations, temperature condition, thermal imager, heat transmission

Важной частью проблемы по экономии топлива энергоустановок является повышение показателей эффективности водогрейных котлов и теплосети. В современной энергетике при модернизации котельных

установок (КУ) выявляют наиболее эффективные режимы работы комплекса: КУ и тепловой сети, обеспечивающие оптимальные температуры поверхностей нагрева комплекса. Опубликованные данные экс-

плутации водогрейных котлов показывают, что снижение температурного уровня воды в котле на 1 °С приводит к соответствующему снижению температуры уходящих газов, примерно на ту же величину. Отмечается также, что изменение температуры воды, циркулирующей в экранных трубках КУ, и температуры воды в конвективных теплообменниках, не приводит к изменению температуры уходящих газов [1, с. 8]. Таким образом, исследования, направленные на повышение эффективности энергоустановок, путем оценки температурного режима систем энергоустановок актуальны, и являются целью данной работы.

Материалы и методы исследования

Экономичность КУ в первую очередь зависит от температурного режима поверхностей конвективного теплообмена, который в свою очередь определяется процессами теплоотдачи тепловых потоков. Так, при традиционной тепловой схеме водогрейных котлов, которая предусматривает параллельную работу нескольких котлов на одну теплотель, одновременно может работать разное число котлов, обеспечивающих оптимальное перераспределение нагрузок для них. Тогда на стационарных режимах работы КУ расход теплоносителя постоянен. Параметры теплоносителя – температуры воды на входе и выходе из котла в этом случае определяются как функции двух независимых переменных: массовый поток сетевой воды G_1 в расчете на один котел, имеющий температуру t_0 , и массовый поток сетевой воды G_2 после бойлеров, имеющий температуру t_2 .

В основном режиме работы КУ температуры этих потоков равны $t_0 = t_2$, и величина G_2 может не учитываться в тепловом балансе, что существенно упрощает оптимизацию работы КУ, которая сводится к оптимальному распределению нагрузок между котлами. При работе котлов в пиковом режиме при рассмотрении теплового баланса необходимо учитывать величину массовый поток сетевой воды G_2 после бойлеров.

Исследованиями установлено, что основными способами повышения экономичности котлов являются: поддержание нагрузки котлов в области максимально допустимых значений; снижение температуры уходящих газов; обеспечение максимально возможной температуры воды на входе в котел; обеспечение минимальной разницы между температурами воды в прямой магистрали и на выходе из котла.

Таким образом, оптимальное распределение потоков энергоносителей, отпускаемых котельной установкой, определяется соотношением нескольких величин – циркуляцией воды в теплотели, суммарной нагрузкой потребителей, протяженностью и конструктивными особенностями сети. В связи с этим для обеспечения надежности и эффективности работы котельных установок необходимо исследовать тепловые сети.

В тепловой схеме КУ достаточно широко применяются трубчатые теплообменники (ТТ), которые имеют конвективные поверхности теплообмена. При исследовании процессов теплообмена в ТТ необходимо учитывать плотность размещения труб по фронту

движения теплоносителя, организации его ступенчатого подогрева, особенности оребрения поверхности труб. Наиболее сложным при обеспечении допустимого температурного режима работы ТТ является организация теплообмена при возникновении коррозионно опасных зон в трубах. Поэтому организация теплообменных процессов ТТ при скоростных режимах, обеспечивающих снижение коррозию поверхности труб, повышает надежность работы КУ в целом и является актуальной задачей.

Перспективным способом повышения эффективности теплообменных процессов в КУ является применение в их тепловой схеме тепловых труб, работающих по замкнутому испарительно-конденсационному циклу. Высокоэффективные теплопередающие устройства тепловых труб обусловлены теплопередающими свойствами теплоносителя, значениями коэффициентов теплоотдачи, характерных для процессов кипения и конденсации. Молекулярный перенос теплоты паром, который образуется при кипении промежуточного теплоносителя, даже на значительные расстояния, при хорошей теплоизоляции происходит практически при постоянной температуре [2, с. 10; 3, с. 8]. Однако для эффективной работы тепловых труб необходимо соблюдать тепловой режим, при котором величина подведенного удельного теплового потока не превышает предела, за которым процесс кипения переходит к пульсационному, при этом коэффициент теплоотдачи резко уменьшается [4, с. 933]. В зависимости от температурных уровней поверхностей теплообмена и совместимости с конструкционными особенностями материалами ТТ в тепловых трубах используются различные теплоносители [5, с. 95]. Применение тепловых труб эффективно для утилизации теплоты, в том числе при использовании теплоты уходящих газов в КУ, в системах подачи горячей воды и теплоснабжения зданий [6, с. 121; 7, с. 12].

В современной энергетике широко применяется способ – управление составом уходящих газов котлов, использование которого обеспечивает увеличение КПД котла на 0,7% и снижение потребления топлива. Данный способ, однако, требует усложнения схемы управления КУ.

Из теоретических работ известно, что оптимальная величина избытка воздуха сокращает потери теплоты с уходящими газами до теоретического минимума и повышает эффективность процесса сгорания топлива. Избыток воздуха вызывает потери теплоты, одновременно увеличивается расход уходящих газов, в целом уменьшается эффективность работы КУ [8, с. 35].

Результаты проведенных исследований на основных типах котлов КВГМ, ДКВР, ПТВМ показали, что при эксплуатации КУ технологические параметры достаточно часто не выдерживаются. По оценке режимных карт установлено, что содержание кислорода в уходящих газах превышает допустимое, то есть допускаются неэффективная работа КУ.

Таким образом, температура уходящих газов и концентрация кислорода в уходящих газах являются показателями эффективности работы КУ.

Для определения количество избытка воздуха используют газоанализаторы уходящих газов, с помощью которых измеряют концентрацию кислорода или двуокиси углерода в уходящих газах. Недостаточный избыток воздуха показывает, что наблюдается неполное сгорание горючих веществ.

Зависимость потерь теплоты с уходящими газами от величины избытка воздуха определяется по формуле

$$q_1 = (H_{\text{уг}} - \alpha H_{\text{в}}^0) \frac{(100 - q_2)}{Q},$$

где $H_{\text{уг}}$ – энтальпия уходящих газов при коэффициенте избытка воздуха α ; $H_{\text{в}}^0$ – энтальпия теоретически необходимого количества холодного воздуха; q_1 – потери теплоты с уходящими газами; q_2 – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива; Q – суммарное количество теплоты.

Установлена зависимость КПД котла от параметров уходящих газов, которая определена расчетным путем при условии наличия полного сгорания топлива и отсутствия водяного пара в воздухе при подаче в КУ (рис. 1). Для КУ, использующих в качестве топлива природный газ, возможна работа с 10% уровнем избытка воздуха, при этом установлено, что КПД котла повышается на 1% при снижении избытка воздуха на 15%, температура уходящих газов понижается на 22°C.

Проведенные исследования показали, что без измерения температуры теплоносителей и поверхностей агрегатов энергоустановок невозможна эффективная безопасная работа оборудования котельных установок, систем теплоснабжения. Значения измеряемой температуры лежат в диапазоне от единиц градусов – температура холодной воды, мазута газа, до тысячи с лишним градусов – температура в топке котла, дымовых газов.

Для измерения температур в диапазоне 300 ... 1100°C используются термоэлектрические преобразователи. Это измерение температур дымовых газов по тракту котла, металла поверхности нагрева.

Для измерения температуры питательной и сетевой воды, природного газа, мазута уходящих газов, металла поверхностей дымососа, вентиляторов, насосов используются термопреобразователи сопротивления. Измерение температуры с погрешностью, соответствующей классу точности термоэлектрических преобразователей, возможно только при использовании как удлиняющих проводов, создающих

минимальные дополнительные погрешности, так и соответствующих методов компенсации влияния температуры окружающей среды. Рассогласованность сопротивлений приборов измерения возникает также из-за различия температурных режимов линий. Для поддержания необходимой точности измерения температуры необходимо применять современные калибраторы температуры, эталонные поверочные средства и высокого уровня подготовки эксплуатационный персонал.

Результаты исследования и их обсуждение

Повышение точности измерения температуры газового потока, тепловой системы котла и теплоснабжения при упрощении процесса измерения решается применением разработанного способа и устройства. Разработан способ тепловизионного определения характеристик теплоотдачи, включающий измерение температурных полей твердого тела и газового потока, при этом измерение температурного поля газового потока проводится синхронно с измерением температурного поля твердого тела путем размещения в газовом потоке преобразователя температуры в виде сетки. В перекрестье нитей преобразователя температуры, который устанавливается перед исследуемой технологической поверхностью твердого тела с возможностью перемещения его в вертикальной и горизонтальных плоскостях, устанавливаются датчики с коэффициентом теплопроводности, отличным от коэффициента теплопроводности нитей преобразователя температуры, и тепловизором снимают визуальный образ тепловых полей поверхностей датчика и преобразователя температуры в различных точках газового потока [9, с. 176].

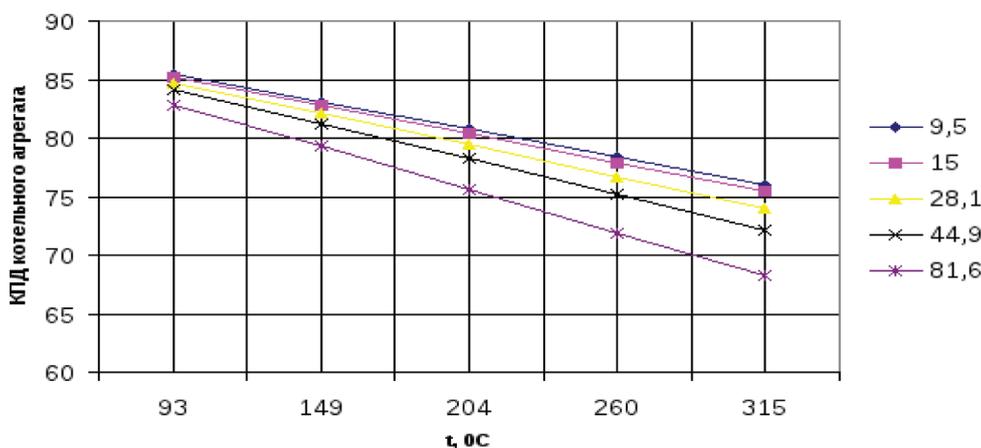


Рис. 1. Зависимость КПД котельной установки от температуры отходящих газов, для различных значений коэффициента избытка воздуха

Устройство тепловизионного определения характеристик теплоотдачи содержит преобразователь температуры, выполненный в виде сетки из нитей с термоиндикаторным покрытием, и снабжено тепловизионной камерой. Преобразователь температуры размещен внутри рамки, которая установлена на стойках с возможностью ее вертикального перемещения с последующим закреплением на них, при этом на преобразователе температуры в точках перекрестия нитей сетки жестко закреплены в шахматном порядке датчики температурного поля, выполненные в виде пластин произвольной формы, имеющие по их центральной оси выступы аналогичной форме пластины, причем соотношение толщин пластины и выступа составляет 1:2, площадь преобразователя $S_{пр}$ к суммарной площади датчиков $S_{дат}$ и к площади выступов $S_{выс}$ составляет пропорцию $S_{пр} : S_{дат} : S_{выс} = (34 \dots 40) : (3 \dots 4) : (1 \dots 2)$.

Технический результат заключается в повышении точности за счет одновременного многократного измерения температуры газового потока и поверхностей датчика при минимальном внесении искажений в температурное поле твердого тела исследуемого твердого тела; необходимого и достаточного количества датчиков, размещенных на преобразователе температуры; измерение температуры газового потока без использования расчетных технических характеристик газового потока; расшифровки образа температурного поля в виде цветового поля без стандартных шкал «цвет – температура».

Упрощение процесса измерения происходит за счет того, что тепловой поток от технологической поверхности твердого тела определяется датчиками преобразователя температуры, не закрепленными на технологической поверхности твердого тела, что обеспечивает минимальное влияние на температурное поле исследуемого твердого тела; измерение теплового потока осуществляется в любой точке газового потока за счет возможности как горизонтального перемещения вокруг исследуемой поверхности твердого тела, так и вертикального.

Предложенный диапазон соотношения площади преобразователя температуры, суммарной площади датчиков и площади выступов позволяет при достаточной точности измерения температурного поля газового потока, омывающего исследуемое твердое тело, минимизировать вносимые искажения в тепловой поток с улучшением качества изображения температурного поля на мониторе тепловизора.

Температурные поля с помощью тепловизионной камеры 3 преобразуются в визуальный образ на мониторе тепловизора в виде цветового поля, которое расшифровывается в числовые значения температуры (рис. 2, 3).

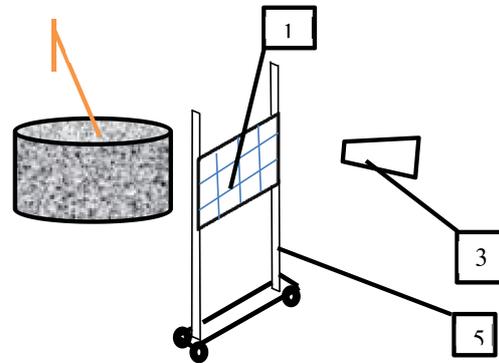


Рис. 2. Устройство тепловизионного определения характеристик теплоотдачи: 1 – преобразователь температуры, 3 – тепловизор, 5 – стойка

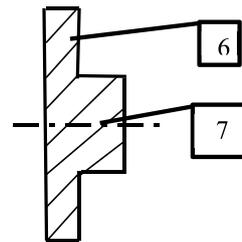


Рис. 3. Схема датчика: 6 – пластина; 7 – выступ пластины

Выводы

Таким образом, тепловизионная камера 3 фиксирует три температурных поля: температурное поле T_1 поверхности пластины 6, температурное поле T_2 поверхности выступа 7 датчика и температурное поле T_r газового потока от технологической поверхности твердого тела. Наличие этих данных позволяет с высокой степенью точности определять необходимые параметры теплоотдачи.

Знание температуры поверхностей пластины 6 и выступа 7 датчика при известном коэффициенте теплопроводности материала датчика, позволяет определить значение плотности теплового потока от технологической поверхности твердого тела. По найденному значению плотности теплового потока q и температуре газового потока T_r определяется коэффициент теплоотдачи.

Расположением датчиков в перекресте нитей сетки 2 преобразователя температуры 1 в шахматном порядке при выполнении

предложенного диапазона соотношения площади преобразователя температуры 1, суммарной площади датчиков и площади выступов 7 обеспечивает необходимое количество датчиков для оценки степени равномерности температурного поля газового потока, в том числе в динамическом режиме работы исследуемого твердого тела.

Заключение

Высокая чувствительность тепловизора позволяет при измерении в качестве датчика использовать пластину малой толщины, при этом возможная тепловая инерционность, возникающая при измерении, сводится к минимуму. Это обеспечивает возможность определения исследуемых характеристик в быстроменяющихся, нестационарных условиях.

Для оценки полей теплового потока и коэффициента теплоотдачи при большой области технологической поверхности твердого тела, преобразователь температуры перемещается по вертикальной стойке, в которой он установлен. Стойка перемещается по горизонтали при помощи подвижных роликов. Применение разработанной конструкции позволяет проводить измерения одновременно по всей поверхности без дополнительных операций.

Таким образом, разработанные способ и устройства упрощают процесс измерения параметров теплового потока систем и энергоносителей энергоустановок.

Список литературы

1. Байрашевский Б.А. Теоретические основы повышения эффективности работы котельных установок: автореф. дис. ... докт. тех. наук. Минск, 1993. 40 с.
2. Павлова А.Д. Особенности процессов теплообмена в радиоэлектронных аппаратах в герметичном исполнении: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2011. 18 с.
3. Дмитриев В.З. Совершенствование систем теплоснабжения: автореф. ... канд. тех. наук. Красноярск, 2013. 18 с.
4. Casarosa C., Latrofa E., Shelginski A. The geyser effect in a two phase thermosyfone. *Int. Gourmal of Heart and Mass Transfer*. 1983. Vol. 26. № 6. P. 933–941.
5. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах: монография. Киев: Факт, 2003. 140 с.
6. Громова Н.Ю., Салова Т.Ю. Техногенные системы и экологический риск. СПб.: Политехнический университет, 2011. 305 с.
7. Султанов М.М. Оптимизация режимов работы оборудования ТЭЦ по энергетической эффективности: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2010. 18 с.
8. Салова Т.Ю., Громова Н.Ю. Использование термодинамического метода в минимизации энергетических затрат // *Вестник АПК Ставрополя*. 2017. № 2 (26). С. 34–39.
9. Салова Т.Ю., Тесленок С.К. Оценка токсичности уходящих газов энергоустановок // *Известия международной академии аграрного образования*. 2015. № 25. С. 176–179.