

Полученные результаты позволяют провести оценку влияния охлаждения внешних границ изучаемого элемента (со стороны донной части) на процессы тепломассообмена и гидродинамику течения жидкости в условиях разрушения материала полости.

Список литературы:

1. Флемингс М. Процессы затвердевания. – М.: Мир, 1977. – 423 с.
2. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Анищенко Л.М. Высокотемпературные технологические процессы. Теплофизические основы. – М.: Наука, 1986. – 172 с.
3. Крайнов А.В., Швалова Г.В. Основы теплоэнергетики: учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 164 с.
4. Логинов В.С., Крайнов А.В., Юхнов В.Е., Феоктистов Д.В., Шабунина О.С. Примеры и задачи по тепломассообмену: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во «Лань», 2011. – 256 с.
5. Рассохин Н.Г., Локтионов В.В., Мухтаров Э.С., Орлов В.Е. и др. Особенности поведения корпуса реактора ВВЭР-1000 в условиях тяжёлой аварии // Тр. Второй Рос. нац. конф. по теплообмену: Пленарные и общие проблемные доклады. Доклады на круглых столах. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – Т.1. – С. 153.
6. Гаврилов П.М., Цыганов А.А. Тепломассообмен и внутренняя самозащищённость ядерных реакторов // Тр. Второй Рос. нац. конф. по теплообмену: Пленарные и общие проблемные доклады. Доклады на круглых столах. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – Т. 1. – С. 147.
7. Krainov A.V., Shvalova G.V. Heating plants and systems: coursebook. – Tomsk: TPU Publishing House, 2012.
8. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 285 с.
9. Кузнецов Г.В., Крайнов А.В. Исследование сопряжённого теплообмена и гидродинамики при движении вязкой несжимаемой жидкости в каверне прямоугольного типа // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 42. – № 5. – С. 136–142.

УДК 62-9

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТАНОВОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ**

Долгов С.В., Ключко К.И., Долгих А.Ю.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: Sergeydolgov555@rambler.ru; ShuraD@tpu.ru

При выполнении пуско-наладочных работ на блочных малогабаритных котельных установках, нефтенагревательных печах, при разработке экспериментальных горелочных устройств на жидком и газообразном топливе и другом топливосжигающем оборудовании часто воз-

никают трудности с определением теплопроизводительности установок. Это, в первую очередь, связано с отсутствием штатных измерительных приборов расхода теплоносителя через установку или с их некорректной работой. Так же из-за недостаточных размеров прямых участков трубопроводов или плохого качества поверхности трубы затруднителен замер расхода теплоносителя портативным расходомером.

Тем не менее, для планирования работы топливосжигающей установки (ТСУ), контроля за качеством и безопасностью ее эксплуатации необходимо знать, до какого предела загружена установка и с какой эффективностью сжигается топливо.

Для решения этой задачи используется зависимость расхода и состава продуктов сгорания на выходе из ТСУ от расхода топлива установкой. Тем более, что в большинстве случаев на газоходах ТСУ имеется возможность организации качественного измерения расхода и состава дымовых газов.

Предмет и метод исследования

Практическому решению задачи предшествуют расчеты показателей горения топлива. Как правило, в сертификате на топливо имеются сведения о его компонентном составе. В случае отсутствия таковых, в [1] или [2] имеется информация о компонентном составе различных видов топлива.

В соответствии с [1] по компонентному составу сжигаемого топлива рассчитываются калорийность топлива, объемы продуктов сгорания и воздуха для горения, определяются максимальное содержание 3-х атомных газов в продуктах сгорания (RO_2^{max}), а также значения постоянных величин данного топлива, входящих в формулы определения балансовых потерь тепла с уходящими газами (q_2) и химическим недожогом (q_3).

Введя соответствующие величины в память газоанализатора-оптимизатора горения (например фирмы «Testo») в балансовой точке замера необходимо выполнить анализ продуктов сгорания и определить температуру уходящих газов (t_{yx}).

По полученным данным рассчитывается коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания, объемные доли компонентов продуктов сгорания (RO_2 , R_2 , H_2O и O_2) и плотность продуктов сгорания.

В этом же месте газохода на этом же режиме работы ТСУ при помощи трубки Пито (или другого датчика) в комплекте с прибором измерения скорости потока определяется динамическое давление потока продуктов сгорания и по нему определяется средняя скорость потока $\dot{v}_{пс}$.

Далее производится обработка полученных экспериментальных данных [3]:

– определяется удельный полный объем продуктов сгорания топлива:

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + 1,0161 \cdot (\alpha_{\text{yx}} - 1) \cdot V_0, \text{ нм}^3/\text{кг} (\text{нм}^3/\text{нм}^3), \quad (1)$$

где V_{Γ} – удельный полный объем продуктов сгорания в газоходе при их фактической температуре, $\text{м}^3/\text{с}$; V_{Γ}^0 – полный объем продуктов сгорания при избытке воздуха на горение – $\alpha = 1,0$ и $t = 0$ °С, $\text{нм}^3/\text{кг} (\text{нм}^3/\text{нм}^3)$; α_{yx} – расчетный коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания по методике М.Б. Равича [3]; V_0 – теоретический объем воздуха для полного сгорания массы (объема) топлива, $\text{м}^3/\text{кг} (\text{м}^3/\text{нм}^3)$;

– определяется фактический расход продуктов сгорания [4]:

$$V_{\text{пс}}^t = \dot{v}_{\text{пс}} \cdot F_{\text{жс}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

и рассчитывается его значение при $t = 0$:

$$V_{\text{пс}}^0 = V_{\text{пс}}^t \cdot \frac{273}{273 + t_{\text{yx}}}, \text{ нм}^3/\text{с}, \quad (3)$$

где $V_{\text{пс}}^0$ – измеренный расход продуктов сгорания, приведенный к нормальным условиям, $\text{нм}^3/\text{с}$; $V_{\text{пс}}^t$ – измеренный расход продуктов сгорания в газоходе при фактической температуре, $\text{м}^3/\text{с}$; $F_{\text{жс}}$ – площадь живого сечения газохода в месте замера параметров, м^2 ; $\dot{v}_{\text{пс}}$ – средняя по сечению скорость продуктов сгорания в месте замера, $\text{м}/\text{с}$; t_{yx} – температура продуктов сгорания в месте замера, °С;

– потребление топлива установкой в определенном режиме работы определяется формулой [3]:

$$B_{\text{р}} = \frac{V_{\text{пс}}^0}{V_{\Gamma}}, \text{ кг}/\text{с} (\text{нм}^3/\text{с}), \quad (4)$$

где $B_{\text{р}}$ – расчетный расход топлива, $\text{кг}/\text{с} (\text{нм}^3/\text{с})$.

С другой стороны, расчетный расход топлива равен [3]:

$$B_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{кc}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{Q_{\text{пол}} \cdot 100}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{кc}}$ – тепловой эффект от сгорания топлива, $\text{Дж}/\text{с} (\text{Вт})$; $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания топлива, $\text{Дж}/\text{с} (\text{Вт})$; $Q_{\text{пол}}$ – полезная тепловая мощность установки, $\text{Дж}/\text{с} (\text{Вт})$; η – коэффициент полезного действия (брутто) установки, %.

Таким образом, полезная тепловая мощность ТСУ определится следующим образом:

$$Q_{\text{пол}} = \frac{B_{\text{р}} \cdot V_{\text{пс}}^0 \cdot \eta}{V_{\Gamma}}. \quad (6)$$

Имея значение полезной тепловой мощности ТСУ, можно определить ее производительность по теплоносителю:

$$\text{– для пара} \quad D = \frac{Q_{\text{пол}}}{(I_{\text{нп}} - t_{\text{пв}})}, \text{ кг/с,} \quad (7.1)$$

$$\text{– для воздуха} \quad V_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{C(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (7.2)$$

$$\text{– для воды} \quad G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{C(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})}, \text{ кг/с,} \quad (7.3)$$

где $I_{\text{нп}}$ – энтальпия насыщенного пара, Дж/кг; $t_{\text{пв}}$ – температура питательной воды, °С; $t_{\text{вых}}$ – то же на выходе из установки, °С; C – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°С).

Коэффициент полезного действия ТСУ может быть определен методом обратного баланса:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_5), \text{ \%}, \quad (8)$$

а сами потери q_2 и q_3 по методике М.Б. Равича [3]:

где q_2 – балансовая потеря тепла с уходящими газами, %; q_3 – балансовая потеря тепла с химическим недожогом, %; q_5 – балансовая потеря тепла в окружающую среду, %.

Балансовая потеря тепла в окружающую среду q_5 равна:

$$q_5 = \frac{Q_5 \cdot 100}{Q_{\text{кв}}}, \text{ \%}. \quad (9)$$

В свою очередь величина Q_5 определится как:

$$Q_5 = \alpha F_{\text{пов}} \cdot (t_{\text{пов}} - t_{\text{окр}}), \quad (10)$$

где α – обобщенный коэффициент теплоотдачи, учитывающий теплоотдачу конвекцией и излучением, Вт/м²·°С; Q_5 – потеря тепла в окружающую среду при работе ТСУ в номинальном режиме, Дж/с (Вт); $F_{\text{пов}}$ – площадь наружной поверхности ТСУ, м²; $t_{\text{пов}}$ – температура наружной поверхности ТСУ, °С; $t_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, °С.

В [5] предлагаются формулы для определения величины α в зависимости от геометрических размеров объекта и температуры поверхности.

Если учитывать величину Q_5 как полезную тепловую мощность (при установке агрегата в помещении Q_5 расходуется на отопление помещения), то в формуле (6) вместо к.п.д. установки следует подставлять значение коэффициента эффективности использования топлива:

$$\text{к.и.т.} = 100 - (q_2 + q_3), \text{ \%}. \quad (11)$$

Предложенный способ экспериментального определения теплопроизводительности ТСУ путем измерения параметров и характеристик продуктов сгорания позволяет предельно быстро и с достаточной точностью выполнить расчет и произвести технический анализ работы установки в практических условиях.

Список литературы:

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). – Издание 3-е, переработанное и дополненное. – СПб, Изд. НПО ЦКТИ, 1998 – 256 с.
2. Роддатис К.Ф. и др. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергия, 1975 – 368 с.
3. Равич М.Б. Газ и эффективность его использования в народном хозяйстве. – М.: Недра, 1987 – 238 с.
4. Липов Ю.М. и др. Расчет паровых котлов в примерах и задачах». – М.: «Энергоатомиздат, 1991 – 241 с.
5. Преображенский Н.И. Контроль за рациональным использованием газа – Л.: Недра, 1983 – 368 с.

УДК 621.311

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ФРАКЦИОННОГО АНАЛИЗА ШИВЭ-ОВООВСКОГО БУРОГО УГЛЯ МОНГОЛИИ

Черкашина Г.А., Долгих А.Ю., Мурзина А.С.
Томский политехнический университет, Г. Томск
E-mail: ShuraD@tpu.ru

Для полноты оценки поведения минеральной части топлива в котельном агрегате и выбора рационального способа сжигания того или иного вида топлива необходимо располагать данными о составе минеральной части. Особенно важно определить минералогический состав в исходном виде.

Изучение неорганической части неозоленного топлива представляет собой очень сложную задачу, почти неразрешимую для малозольных углей. Поэтому для исследования фазового состава сложных полиминеральных систем нельзя обойтись без предварительного разделения их на фракции, обогащенными соответствующими минералами.

Методика разделения исходного угля на фракции предполагает обработку проб в тяжелых жидкостях с различным удельным весом методом центрифугирования. Достоверность разделения обуславливается правильным выбором условий разделения, а именно тонкость размола (размером частиц), временем разделения, числом оборотов ротора центрифуги.

В данной работе изучалось влияние размера частиц топлива на результаты разделения. Схема исследований приведена на рисунке 1. Объектом исследования являлась проба бурого угля Шивэ-Овоовского месторождения Монголии, из которой для анализа подготовлены две равнозначные субпробы (проба № 1 и проба № 2).