позволит направить их на реализацию других экономически выгодных проектов. В целом, перевод котла с жидкого или газообразного топлива на местные виды топлива имеет множество преимуществ, начиная от простоты реализации и выполнения необходимых работ по переоборудованию котла и заканчивая экономической и экологической эффективностью.

Список литературы

1. Головков С.И., Энергетическое использование древесных отходов / Коперин И.Ф., Найденов В.И. – М.: Лесн. пр-сть, 1987. – 224 с.: ил.

2. Донцов Д.П., Кочева М.А., Исследование работы газогенераторов на базе вузовской установки //Международный журнал экспериментального образования. 2012. №9. С. 42-43.

3. Сидоров А.М., О создании мини–ТЭЦ на древесных отходах с использованием отечественного оборудования: материалы Дальневосточного международного экономического форума. – www.dvforum.ru. 2006.

4. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1973. – 296 с.

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЁТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОЦЕССА ПОЛНОГО СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Рогова А.В., Климов Г.М., Кочев А.Г.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: nastya25rus@yandex.ru

Эффективность применения природного газа в топливосжигающих установках реализуется при комплексном использовании его продуктов сгорания. Это обеспечивается тем, что одновременно используется не только теплота продуктов сгорания, но и их составляющие компоненты. В связи с этим составление материального баланса является необходимым этапом расчёта процесса полного сгорания природного газа, так как именно в результате его определяется количество и состав продуктов сгорания.

Составление и расчёт материального баланса при соответствующих коэффициентах расхода (избытка) воздуха α_i является одним из трудоёмких этапов в теплотехнических расчётах газоиспользующих установок. Для снижения трудоёмкости расчётов с сохранением их требуемой точности предложена методика [1, 2], базирующаяся на использовании понятия условного углеводородного соединения (УУС). При этом учитываются реальные составы реагирующих влажных природного газа и атмосферного воздуха.

Расчёт материального баланса в этом случае предлагается выполнить в следующей последовательности:

Записываются числовые значения компонентов в составе сухих природного газа и атмосферного воздуха (в % или в долях по объёму) в строку с указанием в нижнем индексе химической формулы компонента. Например:

для сухого (*d*) природного газа (пг):

$$10^{-2}\cdot[(98{,}99)_{CH_4}(0{,}25)_{C_2H_6}(0{,}04)_{C_3H_8}(0{,}02)_{C_4H_{10}}(0{,}10)_{CO_2}(0{,}60)_{N_2}]^{d}_{пг}, \quad (1)$$

для сухого (*d*) воздуха (в):

$$10^{-2}\cdot[(20{,}95)_{O_2}(78{,}09)_{N_2}(0{,}93)_{Ar}(0{,}03)_{CO_2}]^{d}_{в}, \quad (2)$$

где цифры – содержание соответствующего компонента в % по объёму; нижние буквенные индексы – химические формулы компонентов. Отметим, что расчёты обычно производят при нормальных физических условиях [t=0 °C; p=760 мм.рт.ст. (101,3 МПа)], при которых влагосодержание природного газа и воздуха принято $x_{пг}$=0,005 кг/м³сух. газа, $x_в$=0,01 кг/кг сух.возд.

Определяют компонентный состав влажных природного газа и воздуха путём пересчёта с их объемного сухого состава на рабочий (*r*) с использованием коэффициента пересчёта:

для ПГ:

$$K = 0{,}804/(0{,}804) + x_{пг};\ (H_2O)^{r}_{ПГ} = K\cdot 100\cdot x_{пг}/0{,}804,\ \% \quad (3,4)$$

для воздуха:

$$K = \left(100 - (H_2O)^{r}_{В}\right)/100;\ (H_2O)^{r}_{В} = 1000x_в/\left(6{,}2181 + 10\,x_в\right),\ \% \quad (5,6)$$

В итоге получают компонентные составы влажных природного газа и воздуха:

для ПГ:

$$10^{-2}[(98{,}379)_{CH_4}(0{,}248)_{C_2H_6}(0{,}040)_{C_3H_8}(0{,}020)_{C_4H_{10}}(0{,}099)_{CO_2}(0{,}596)_{N_2}]^{r}_{пг} \quad (7)$$

для воздуха:

$$10^{-2}\cdot[(20{,}619)_{O_2}(76{,}854)_{N_2}(0{,}9153)_{Ar}(0{,}0295)_{CO_2}(1{,}583)_{H_2O}]^{r}_{в} \quad (8)$$

В дальнейшем расчёты можно значительно упростить, используя относительный компонентный по кислороду состав воздуха (см. табл.1), определяемый по формуле:

$$(f_к^{ввл})_{O_2} = r_{ik}^{ввл}/r_{O_2}^{ввл} \quad (9)$$

Таблица 1

Относительный по кислороду состав влажного атмосферного воздуха

Компонент	Объёмная доля компонента во влажном воздухе, $r_{ik}^{ввл}$	Относительная по кислороду доля компонента во влажном воздухе, $(f_к^{ввл})_{O_2}$
CO_2	0,0295	0,00143
O_2	20,619	1,00000
N_2	76,854	3,72734
Ar	0,9153	0,04439
H_2O	1,583	0,07677
Σ	100%	4,84993

Записываем химические формулы УСС для влажных атмосферного природного газа и воздуха в общем виде в любом из двух указанных ниже видов (предпочтительнее 2-ой вид):

$$1)\ [C_n H_m O_y N_z Ar_\psi] \text{ или } 2)\ [n_C m_H y_O z_N \psi_{Ar}], \quad (10)$$

где *n, m, y, z, y* – соответственно количество атомов углерода C, водорода H, кислорода O, азота N и аргона Ar в УУС природного газа или воздуха.

Числовые значения количества атомов химических элементов в УУС природного газа или воздуха находим по методике, приведённой в [1, с. 25…28]. В итоге получаем:

для ПГ:

$$10^{-2}\cdot[(99{,}174)_C(396{,}76)_{HO}(0{,}816)_N(1{,}192)]^r_{ПГ}, \quad (11)$$

для воздуха:

$$10^{-2}\cdot[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H\ (42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\ вл}. \quad (12)$$

Записываем уравнение материального баланса процесса полного сгорания природного газа при коэффициенте расхода воздуха $\alpha_i \geq 1$ на базе УУС в общем виде в двух вариантах:

С использованием УУС влажного атмосферного воздуха, выраженного через его объемный компонентный состав:

$$1\cdot[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг}+\alpha_i\cdot V^o_{в\ вл}[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H$$
$$(42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\ вл}=V_{CO_2}[(100)_C(200)_O]^d_{CO_2}+$$
$$+V_{H_2O}[(200)_H(100)_O]^r_{H_2O}+V_{N2}[(200)_N]^d_{N_2}+V_{Ar}[(100)_{Ar}]^d_{Ar}+V^{изб}_{O_2}[(200)_O]^d_{O_2},\ м^3 \quad (13)$$

При сжигании природного газа в чистом кислороде, при использовании относительного компонентного по кислороду состава влажного атмосферного воздуха:

$$1\cdot[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг}+\alpha_i\cdot V^o_{O_2}[(200)_O]^d_{O_2}=$$
$$=V_{CO_2}[(100)_C(200)_O]^d_{CO_2}+V_{H_2O}[(200)_H(100)_O]^r_{H_2O}+V_{N_2}[(200)_N]^d_{N_2}+$$
$$+V^{изб}_{O_2}(200)_O]^d_{O_2},м^3 \quad (14)$$

Числовые значения буквенных коэффициентов V_i, м³/м³пг рассчитываем на базе закона сохранения массы, путём уравнивания количества одноимённых атомов в левой и правой частях уравнений. В итоге получаем, например, при α_i=1,1:

При сжигании во влажном атмосферном воздухе:

$$1\cdot[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг}+1{,}1\cdot V^o_{в\ вл}[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H$$
$$(42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\ вл}=V_{CO_2}[(100)_C(200)_O]^d_{CO_2}+$$
$$+V_{H_2O}[(200)_H(100)_O]^r_{H_2O}+V_{N_2}[(200)_N]^d_{N_2}+V_{Ar}[(100)_{Ar}]^d_{Ar}+V^{изб}_{O_2}[(200)_O]^d_{O_2}\ ,м^3 \quad (15)$$

При уравнивании приходится решать систему 3-х уравнений, что несколько усложняет расчёт в м³/м³пг:

$$\begin{cases} 1\cdot 99{,}174+1{,}1\cdot V^o_{в\ вл}\cdot 0{,}0295=V_{CO_2}\cdot 100 \\ 1\cdot 396{,}76+1{,}1\cdot V^o_{в\ вл}\cdot 3{,}1662=V_{H_2O}\cdot 200 \\ 1\cdot 0{,}816+,1\cdot V^o_{в\ вл}\cdot 42{,}8788=V_{CO_2}\cdot 200+V_{H_2O}\cdot 100 \end{cases} \quad (16)$$

При сжигании природного газа в чистом кислороде уравнение имеет вид: (14). В данном варианте трудоёмкость определения V_i, м³/м³пг значительно уменьшается, так как систему уравнений решать не требуется. Объём продуктов полного сгорания определяют с использованием относительного компонентного по кислороду состава воздуха (см. табл. 1) по формулам в м³/м³пг:

$$V_{CO_2}=n+0\ 00143\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2},\ V_{Ar}=0{,}04439\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2} \quad (17,18)$$

$$V_{N_2}=0{,}5\cdot z+3{,}72734\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2}, V_{сух}=n+0{,}5z+3{,}77316\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2} \quad (19,20)$$

$$V_{H_2O}=0{,}5\cdot m+0{,}07677\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2}\ , V_{ввл}=4{,}84993\cdot\alpha_i\ V^o_{O_2} \quad (21,22)$$

$$V_\Sigma=V_{сух}+V_{H_2O}=4{,}84993\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2}+0{,}5\cdot y+0{,}5\cdot z+0{,}25\cdot m=$$
$$=3{,}84993\cdot\alpha_i\cdot V^o_{O_2}+n+0{,}5\cdot m+0{,}5\cdot z \quad (23)$$

Компонентный состав сухих и влажных продуктов сгорания на базе уравнений из п.5.1. и п.5.2. определяют тем же методом уравнивания с предварительной записью уравнений горения в общем виде в м³:

$$[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг} + 1{,}1\cdot V^o_{в\,вл}\cdot[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H$$
$$(42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\,вл} = V_{сг}\cdot[(100_C200_O)_а(200_N)_б(100_{Ar})_в]^d_{пг} +$$
$$+ V_{H_2O}[(200)_H(100)_O]^r_{H_2O}, \qquad (24)$$

$$[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг} + 1{,}1\cdot V^o_{в\,вл}\cdot[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H$$
$$(42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\,вл} = V_\Sigma\cdot[(100_C200_O)_а(200_N)_б(100_{Ar})_в$$
$$(200^{изб}_O)_г(200_H100_O)_д]^r_{пг}. \qquad (25)$$

В итоге выполненных расчетов получаем следующие конкретные уравнения с числовыми значениями объемных составляющих компонентов сухих дымовых газов (26) и влажных дымовых газов (27):

$$[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг} + 10{,}56106\cdot[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H$$
$$(42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\,вл} =$$
$$= 8{,}46712\cdot[(100_C200_O)_а(200_N)_б(100_{Ar})_в]^d_{пг} + 2{,}13579\cdot[(200)_H(100)_O]^r_{H_2O}, \qquad (26)$$

$$[(99{,}174)_C(396{,}76)_H(0{,}816)_O(1{,}192)_N]^r_{пг} + 10{,}56106\cdot[(0{,}0295)_C(3{,}1662)_H$$
$$(42{,}8788)_O(153{,}7077)_N(0{,}9153)_{Ar}]^r_{в\,вл} = 10{,}60291\cdot[(100_C200_O)_а(200_N)_б$$
$$(100_{Ar})_в(200^{изб}_O)_г(200_H100_O)_д]^r_{пг}. \qquad (27)$$

Предложенный метод расчёта позволяет с небольшой трудоёмкостью и с достаточной точностью без знания специальных формул определять объёмы воздуха, продуктов полного сгорания и их компонентный состав при сжигании любого газового топлива в любой окислительной среде.

Список литературы

1. Климов, Г.М. Органическое топливо для котельных установок / Г.М. Климов: метод. разработка для студентов специальностей ТГВ и БЖД / Нижегор. гос. архит.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2004. – 44с.: ил.

2. Климов, Г.М. Методика расчёта материального баланса процесса полного сгорания органического топлива / Г.М. Климов, И.Н. Новожилов, Е.Н. Хохлова // Энергоэффективность. Опыт, проблемы, решения. – Н. Новгород, 2007. – Вып.1-2. – С. 60-62.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА

Чадова Н.А., Пузиков Н.Т., Чадов А.Ю.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: alchadov@mail.ru

В последние годы в связи с удорожанием традиционных видов топлива – природного газа, нефти и др. все большее внимание привлекают нетрадиционные источники энергии: солнечное излучение, морские приливы и многое другое.

Одним из забытых видов сырья является и биогаз, использовавшийся еще в Древнем Китае, и вновь востребованный в наше время.

Биогаз – это газообразный продукт, получаемый в результате анаэробной, т.е. происходящей без доступа воздуха, ферментации органических веществ самого различного происхождения. Теплотворная способность биогаза 22–24 МДж/м^3. Один кубометр биогаза эквивалентен 0,6 м^3 природного газа, 0,7 л мазута, 0,4 л бензина, 3,5 кг дров.

Биометаногенез европейцами был открыт еще в 1776 г. Вольтой, который установил наличие метана в болотном газе. Биогаз, получающийся в ходе этого процесса, представляет собой смесь из метана 65%, углекислого газа 30%, 1% сероводорода и незначительных количеств азота, кислорода, водорода и окиси углерода.

Первые сведения о практическом использовании европейцами биогаза, полученного из сельскохозяйственных отходов, относятся к 1814 году. Для сбора отходов, начиная с 1881 года, стали использоваться закрытые емкости, которые, после небольшой модификации, получили название «септик». Еще в 1895 году уличные фонари в одном из районов города Эксетер (Англия) снабжались газом, который получали в результате брожения сточных вод.

В настоящее время в странах Европейского Союза принята программа по использованию нетрадиционных видов топлива и доведения их до 20% от общего объема топлива.

В этих странах, в среднем, вклад биомассы в энергетический баланс составляет около 3%, но с широкими вариациями: в Австрии – 12%, в Швеции – 18%, в Финляндии – 23%.

Ведущее место в мире по производству биогаза занимает Китай. КНР обеспечивает 30% национальных потребностей в энергии за счет биогаза, там работает более 20 млн установок по его производству. Второе место в мире занимает Индия, где ежедневное производство биогаза составляет 2,5–3 млн м^3. В России этому виду энергии уделяется мало внимания, хотя возможности есть большие.

В нетрадиционной энергетике особое место занимает переработка биомассы (органических, сельскохозяйственных и бытовых отходов метановым брожением с получением биогаза). Биомассу можно разделить на следующие группы: отходы лесоматериалов (обрезки и опилки от переработки древесины); энергетические сельскохозяйственные культуры; твердые городские отходы; сточные воды.

Ежегодное количество органических отходов по разным отраслям народного хозяйства России составляет более 390 млн тонн, из которых:

– 250 млн т дает сельскохозяйственное производство, причем 150 млн т приходится на животноводство с птицеводством (помет птиц и КРС), а 100 млн т – на растениеводство (солома, стебли подсолнечника и др.);