**Контрольная работа**

**Газоочистка и газозолоудаление**

Вариант № 5

Задача

Состав газообразного топлива,коэффициент избытка воздуха(см.табл.). Найти общий объем продуктов сгорания *VГ*, м3/м3;

Таблица 12 - Расчётная характеристика природного газа

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Газопровод | Состав, % | α |
| СО2 | СН4 | С2Н6 | С3Н8 | С4Н10 | С5Н12 | N2 |
| Карадаг - Тбилиси | 0,2 | 93,9 | 3,1 | 1,1 | 0,3 | 0,1 | 1,3 | 1,07 |

Полный объем продуктов сгорания газов, включая и водяные пары, выражается суммой

VС.Г. + Vв.п. = Vг м3/м3

В случае полного сгорания отходящие из топки газы будут содержать: во-первых, газы, получившиеся после сгорания углерода, водорода и летучей серы, а именно СО2, Н2О и SО2, далее азот Nв2 - нейтральный газ, пришедший в топку с кислородом воздуха, азот из состава топлива Nт2 и, наконец, кислород избыточного воздуха. Для удобства подсчетов продукты сгорания разделяются на водяные пары и сухие газы. Таким образом, в случае полного сгорания газов состав сухих продуктов сгорания в процентах по объему равняется

CО2+SО2+Nв2+Nт2+О2=100. (27)

В общем случае в топку котла газообразные продукты сгорания содержат:

CO2 SO2 H2O – продукты полного сгорания

CO H2 CmHn – продукты неполного сгорания

O2 N2 – азот из топлива и воздуха, избыточный кислород.

Vг можно выразить равенством:

Vг = VCO2 + VSO2 + VH2O + VCO + VH2 + VCmHn + VO2 + VN2

1.  Определяем теоретический объем воздуха V0, м3/м3, необходимого для полного сгорания при сжигании газа:

V0=0,0476 [0,5 СО+0,5Н2+1,5Н2S+∑(m +)СmНn-О2]

где: m – число атомов углерода;

n – число атомов водорода.

 СО - содержание окиси углерода в рабочем составе топлива, %;

Н2 - содержание водорода в рабочем составе топлива, %;

H2S - содержание сероводорода в рабочем составе топлива, %;

О2 - содержание кислорода в рабочем составе топлива, %.

V0=0,0476[(1+)93,9+(2+)3,1+(3+ )1,1+(4+ )0,3+(5+ )0,1]=

=0,0476[187,8+10,85+5,5+1,95+0,8]=9,8

2. Определяем теоретический объем азота V0N2, м3/м3, в продуктах сгорания при сжигании газа:

V0N2=0,79 V0+

V0N2=0,79 \* 9,8+$\frac{1,3}{100}$=7,8

3. Определяем объём трехатомных газов VRO2, м3/м3, в продуктах сгорания при сжигании газа:

VRO2=0,01(СО2+СО+Н2S+∑ m СmНn).

VRO2=0,01(0,2+(1\*93,9+2\*3,1+3\*1,1+4\*0,3+5\*0,1)=1,053

4. Определяем теоретический объём водяных паров V0H2O, м3/м3, в продуктах сгорания при сжигании газа:

V0H2O=0,01(Н2S+Н2+∑  СmНn+0,124dг.тл)+0,0161 V0

где: dг.тл – влагосодержание газообразного топлива, отнесенного к 1 м3 сухого газа, г/м3, dг.тл =10

V0H2O=0,01( \*93,9+  \*3,1+  \*1,1+  \*0,3+  \*0,1+0,124\*10)+ +0,0161\*9,8=2,048

5. Определяем избыточное количество воздуха Vвизб, м3/м3, для газохода:

Vвизб= V0(aср –1)

α - Средний коэффициент избытка воздуха

Vвизб= 9,8(1,07 –1) = 0,686

Vг можно выразить равенством:

Vг = 1,053+ 2,048 + 9,8 + 7,8 = 20,7 м3/м3

Ответ: Vг = 20,7 м3/м3

Контрольная работа №1 – **Практическая задача № 1.**

Определить количество образующейся золы в продуктах сгорания при сжигании угля без очистки выбросов окружающую среду (см. методические указания в разделе «Расход воздуха, необходимый для горения» и «Продукты сгорания топлива» [1] и см. стр. 66 – 68 (Карауш С.А. Расчет параметров процессов горения, 2015)).

**Условие задачи № 1:**

В данной задаче необходимо выполнить расчет материальных потоков от теплоэнергетического агрегата при сжигании твердого топлива (уголь): потребление кислорода в процессе горения с учетом α=1,25. Мощность установки определяется потреблением топлива – 5 кг/с. Индивидуальные исходные данные по топливу принять согласно номеру Вашего варианта по Приложению 2 стр. 109 (см. Карауш С.А. Расчет параметров процессов горения, 2015). КПД топочного устройства составляет 70 %.

Найти согласно алгоритмам методических указаний (см. Германова Т.В. Топливо и расчеты процессов горения, 2018) объем выбрасываемых уходящих газов и определить количество образующейся золы в продуктах сгорания. Расчеты выполнить в указанном порядке:

1. Теоретически необходимое количество воздуха.
2. Действительное количество воздуха.
3. Теоретический объем продуктов сгорания.
4. Общий объем продуктов сгорания.
5. Определить количество образующейся золы в продуктах сгорания, г/с при сжигании угля без очистки выбросов окружающую среду.
6. Расчет горения твердого топлива выполняют аналогично расчету горения жидкого топлива.

Химический состав горючей массы углей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cг | Hг | Oг | Nг | Sг | Сумма |
| 86,0 | 5,0 | 6,3 | 2 | 0,7 | 100% |

Содержание золы – Aс= 16,0% – по данным ВТИ

Содержание влаги – Wр= 9,0% – по данным ВТИ

Коэффициент избытка воздуха – α=1,2 – по характеристике горелки

Температура воздуха, поступающего на горение (по показателям работы топливо-подготовительного оборудования) – tв= 400 °C

Влагосодержание воздуха (среднее влагосодержание атмосферного воздуха на расчетный период) – d = 10 г/кг

Состав рабочего топлива

Aр= Aс⋅ (100 – W р)/100 = 16⋅ (100 – 9,0)/100 = 14,6%

Ср= Сг⋅ [100 – (Ар+ W р)]/100 = 86,0⋅ [100 – (14,6 + 9,0)]/100 = 65,7%

Hр= Hг⋅ [100 – (Ар+ W р)]/100 = 5,0⋅ [100 – (14,6 + 9,0)]/100 = 3,8%

Ор= Ог⋅ [100 – (Ар+ W р)]/100 = 6,3⋅ [100 – (14,6 + 9,0)]/100 = 4,8%

Nр= Nг⋅ [100 – (Ар+ W р)]/100 = 2,0⋅ [100 – (14,6 + 9,0)]/100 = 1,5%

Sр= Sг⋅ [100 – (Ар+ W р]/100) = 0,7⋅ [100 – (14,6 + 9,0)]/100 = 0,6%

При точности анализа – один знак после запятой

 *Теплота сгорания угля:*

Qpн= 339,13Ср+ 1029,95Hр– 108,86 (Ор– Sр) – 25,12W р, кДж/кг

Qpн= 339,13 ⋅ 65,7 + 1029,95 ⋅ 3,8– 108,86 ⋅ (4,8 – 0,6) – 25,12 ⋅ 9,0 = 25511,4 кДж/кг или

Qpн= 81Ср + 246Hр – 26 (Ор– Sр) – 6W р, ккал/кг

Qpн= 81 ⋅ 65,7 + 246 ⋅ 3,8 – 26 ⋅ (4,8 – 0,6) – 6 ⋅ 9,0 = 6093,3 ккал/кг

*Теоретически необходимое для горения количество сухого воздуха:*

V ов = 0,0889Ср + 0,265Hр – 0,0333 (Ор– Sр) , нм3/кг

V ов = 0,0889 ⋅ 65,7 + 0,265 ⋅ 3,8 – 0,0333 ⋅ (4,8 – 0,6) = 6,7 нм3/кг

*Теоретически необходимое для горения количество атмосферного воздуха:*

V ов .вл = (1+0,0016d) ⋅ V ов , нм3/кг

V ов .вл = (1+0,0016 ⋅ 10) ⋅ 6,7 = 6,82 нм3/кг

где: 0,0016 = 1,293 /(0,804 ⋅ 1000) – коэффициент пересчета весовых единиц влаги воздуха, выраженных в г/кг сухого воздуха, в объемные единицы – нм3 водяных паров, содержащихся в 1 нм3 сухого воздуха.

*. Действительное количество сухого воздуха при α=1,2:*

Vα = α ⋅ V ов = 1,2 ⋅ 6,7 = 8,1 нм3/кг

 *Действительное количество атмосферного воздуха при α=1,2:*

V ′α = α ⋅ V ов .вл = 1,2 ⋅ 6,82 = 8,2 нм3/кг

К*оличество и состав продуктов горения при α=1,2:*

VCO 2 = 0,01855Ср= 0,01855 ⋅ 65,7 = 1,219 нм3/кг

VSO 2 = 0,007Sр= 0,007 ⋅ 0,6 = 0,004 нм3/кг

VH2 O = 0,112Hр+ 0,0124Wр + 0,0016dVα = 0,112 ⋅ 3,8 + 0,0124 ⋅ 9,0 + 0,0016 ⋅ 10 ⋅ 8,1 = 0,667 нм3/кг

VN 2 = 0,79Vα+ 0,008Nр= 0,79⋅ 8,1 + 0,008 ⋅ 1,5 = 6,411 нм3/кг

VO 2= 0,21(α - 1)V ов = 0,21 ⋅ (1,2 - 1) ⋅ 6,7 = 0,281 нм3/кг

Общее количество продуктов горения:

VДГ=VCO 2+ VSO 2+ VH2 O+ VN 2 + VO 2, нм3/кг

VДГ= 1,219 + 0,004 + 0,667 + 6,411 + 0,281 = 8,58 нм3/кг

Процентный состав продуктов горения:

СО2= 1,219 ⋅ 100/8,58 = 14,208 ≅ 14,21%

SО2= 0,004 ⋅ 100/8,58 = 0,047 ≅ 0,05%

H2O = 0,667 ⋅ 100/8,58 = 7,774 ≅ 7,77%

N2= 6,411 ⋅ 100/8,58 = 74,72%

O2= 0,281 ⋅ 100/8,58 = 3,275 ≅ 3,28%

Итого 100%

 *Энтальпия воздуха, подаваемого на горение при tв=400 °C:*

*i*′*в= св*⋅ *tв*

*i*′*в=*1,3544⋅ 400 = 541,8 кДж/нм3или

*i*′*в=*0,3235⋅ 400 = 129,4 ккал/нм3

*Энтальпия продуктов горения при tв=400 °C и á=1,2:*

iобщ= Qpн/VДГ+ V ′á ⋅ *iв*/VДГ

iобщ= 25511,4/8,58 + 8,2 ⋅ 542,8/8,58= 3491,2 кДж/ нм3 или

iобщ= 6093,3/8,58 + 8,2 ⋅ 129,4/8,58= 833,8 ккал/нм3

*Теоретическая температура горения при α=1,2*

tтеор= 2060 °С, по i-t диаграмме рис. 7.2.

*Калориметрическая температура горения при α=1,2*

tк= 2115 °С, по i-t диаграмме рис. 7.2. (пунктирные линии)

*Коэффициент сохранения тепла в топке:*

ϕ = 1 – q5/100= 1 – 0,5/100 = 0,995

где: q5-потери тепла в окружающую среду зависят от конструктивных особенностей топки, в примере q5принимаем равным 0,5%.

*Энтальпия газов в топке:*

i ′ общ= iобщ⋅ ϕ

i ′ общ= 3491,2 ⋅ 0,995=3473,7 кДж/нм3или

i ′ общ= 838,8 ⋅ 0,995 = 834,6 ккал/нм3

*.Действительная средняя температура газов в топке:*

# tдейст=2030 °С,

Контрольная работа №2 – **Практическая задача №** **2.**

Проанализировать полученные результаты в практической задаче № 1 по объему выбросов уходящих газов: состав уходящих газов и содержанию в них твердых частиц (золы).

Порекомендовать для очистки уходящих газов набор газоочистного оборудования с учетом особенностей твердых частиц после сжигания угля. Для выполнения данной задачи использовать рекомендованные литературные источники.

Стадии процесса сжигания угля и утилизации дымовых газов:

1. Разделение воздуха. В специальной установке удаляется азот, доля которого в воздухе достигает 78%. Существенным недостатком технологии являются большие энергозатраты на процесс разделения, существенно снижающие эффективность станции в целом.
2. Сжигание топлива. В котле происходит сгорание угля и образование пара, который приводит во вращение турбину. Кислородно-угольная смесь сгорает при более высоких температурах, чем воздушно-угольная. Для того, чтобы снизить температуру часть отходящих дымовых газов возвращается в котел.
3. Удаление золы из дымовых газов. Для удаления золы используются электромагнитные фильтры.

4. Удаление оксидов серы. Из дымовых газов удаляется оксид серы (SO2), который при попадании в атмосферу может стать причиной кислотных дождей. Для удаления этого соединения в поток дымовых газов подается струя из смеси воды и известняка. SO2 вступает в реакцию и образуется гипс, который в дальнейшем может использоваться в строительстве.
5. Охлаждение и конденсация. На этом этапе дымовые газы охлаждаются, в результате чего пары воды конденсируются. Поскольку азот был удален из воздуха еще до попадания в котел, в дымовых газах отсутствуют опасные соединения азота (NOx). После прохождения этого этапа дымовые газы представляют собой практически чистый поток углекислого газа.
6. Сжатие углекислого газа. Содержание СО2 в дымовых газах на этом этапе достигает 95%. При давлении около 70 атмосфер газа становится жидким, напоминающим по плотности тяжелую нефть. После этой стадии углекислый газ готов к транспортировке и захоронению.

Компания Vattenfall продолжает исследовать потенциал и двух других технологий – удаления углекислого газа в дымовых газах после сжигания (метод postcombustion) и до сжигания (метод precombustion).

## Метод «pre-combustion».

## Отличие метода состоит в том, что на первом этапе уголь подвергается газификации (нагреванию) в результате чего получается синтетический газ и твердый остаток. Затем синтетический газ проходит ряд ступеней очистки и подвергается химической реакции, в ходе которой содержащийся в синтезгазе монооксид углерода (СО) преобразуется в водород (H2) и углекислый газ (CO2). Углекислый газ удаляется из синтеза-газа при помощи жидкого абсорбента. Оставшийся водород сжигается в газовой турбине. В отдельной установке углекислый газ восстанавливается и затем подвергается сжатию.



Метод «post-combustion»

**Основная:**

* 1. Германова Т.В. Топливо и расчеты процессов горения: методические указания к самостоятельной работе слушателей дистанционного образования программы профессиональной подготовки «Теплоэнергетика, теплотехника». – Тюмень: ТИУ, 2018. – 20 с.
	2. Карауш, С.А. Расчет параметров процессов горения [Текст] : учебное пособие / С.А. Карауш. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – 120 с.
	3. Андросов А.С., Салеев Е.П. Примеры и задачи по курсу. Теория горения и взрыва: Учебное пособие. - М.: Аrfltvbz ГПС МЧС России, 2005. - 86 с.

**Справочная:**

1.Газовые топлива их компоненты. Свойства, получение,применение, экология [Текст]: справочник / В. Н. Бакулин [и др.]. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. - 615 с.: ил.