

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»

ТОПЛИВО И ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности

1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

Минск
БНТУ
2011

УДК 662.611(075.8)

ББК 24.54я7

Т 58

Составители:

В.А. Седнин, О.Ф. Краецкая

Рецензенты:

Н.Б. Карницкий, Р.И. Есьман

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении контрольных работ.

В издании излагаются основные положения теории горения, приводятся варианты контрольных заданий.

Методическая часть способствует более глубокому изучению и освоению материала.

ВВЕДЕНИЕ

Назначение любого топливосжигающего устройства заключается в превращении химической энергии топлива в теплоту продуктов сгорания, которая затем используется для получения пара или горячей воды в котельных установках, для нагрева металла в промышленных печах, сушки изделий в сушильных установках, в качестве рабочего тела в газовых турбинах и т. д.

Основной процесс горения топлива в топочной камере – это химические реакции его горючих элементов с кислородом, протекающие в сложных условиях в сочетании с рядом физических процессов, накладывающихся на химические реакции.

Одной из основных задач теории горения является изучение роли физических процессов (тепло- и массообмена, аэродинамического, теплового и воздушного режимов топочной камеры) в протекании химических реакций горения для организации указанных процессов таким образом, чтобы они благоприятствовали протеканию реакций горения и топочного процесса в целом.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении каждой темы дисциплины следует знакомиться с методическими указаниями, т. к. материал учебника не всегда полностью отвечает требованиям программы и ряд вопросов приходится изучать по дополнительной литературе.

Контрольные работы состоят из решения задачи и ответов на контрольные вопросы. Номера вариантов и вопросов выбираются по цифрам учебного шифра студента.

Работы, выполненные по несоответствующему варианту не рассматриваются.

При выполнении контрольной задачи необходимо соблюдать следующие требования:

- а) полностью выписывать условие задачи;
- б) решение сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указывать определяемую величину, формулу в общем виде, по которой она определяется, какие величины и откуда подставляются в эту формулу (дать ссылку на источники, откуда взята величина);
- в) вычисления давать в развернутом виде, не допуская сокращений, вычисления производить с достаточной для каждого случая точностью;
- г) при всех исходных и вычисленных величинах должна обязательно проставляться размерность в системе СИ.

Решение задачи должно сопровождаться кратким анализом полученных результатов и выводами.

Контрольная задача выполняется с использованием расчетных формул, приведенных в рекомендуемой основной и дополнительной литературе.

В конце работы должна быть указана использованная учебная и справочная литература. Работа должна быть датирована и подписана студентом.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Тема «Введение» изучается по основной литературе [1, 2, 4]. Основное внимание следует уделить изучению структуры топливно-энергетического баланса Республики Беларусь в настоящее время и на длительную перспективу.

Тема 1. Виды и теплотехнические характеристики топлива

При работе над данной темой студент должен изучить основные виды энергетического топлива: торф, сланцы, угли, мазут, газ, их механические свойства, элементарный состав, происхождение и физические свойства ископаемого твердого топлива.

Изучение состава и теплотехнических характеристик топлива следует начинать с выяснения химического и элементарного составов топлива, далее изучается понятие о различных массах топлива (рабочей, сухой, горючей, органической) и формулы для пересчета с одной массы на другую.

Особое внимание в этой части темы следует уделить влиянию основных элементов, входящих в состав органического топлива (горючие вещества, влага, минеральные примеси), на теплотехнические характеристики топлива. Здесь необходимо также ознакомиться с методикой лабораторного определения влажности, зольности и выхода летучих твердого топлива [5].

Основная характеристика топлива – это теплота сгорания. В этом вопросе сначала необходимо выделить теплоты сгорания отдельных элементов, входящих в состав топлива, а затем изучить понятие о высшей и низшей теплоте сгорания и расчетных и экспериментальных методах ее определения. Дать связь понятия «условное топливо» с возможностью сравнения эффективности установок, работающих на различных видах топлива.

Далее изучаются уравнения горения отдельных горючих составляющих топлива, методика расчета на их основе, количество необходимого для горения воздуха, объем и состав продуктов сгорания. Основное внимание следует уделить понятию коэффициента избытка воздуха и влиянию его на состав продуктов сгорания.

Рассматривая уравнения полного и неполного горения топлива, необходимо изучить понятие о топливной характеристике, расчете максимальной концентрации углекислоты и определении коэффициента избытка воздуха по составу продуктов сгорания.

Тема 2. Основные положения теории горения

Основные вопросы, рассматриваемые в этой теме, касаются физических и химических факторов, влияющих на протекание реакции горения. Основной процесс горения в топочной камере – это реакции горючих элементов топлива с кислородом. При этом основной химический процесс протекает в потоке, в сложных условиях, в сочетании с рядом физических процессов. Такими процессами являются: движение подаваемых в топочную камеру горючих смесей в системе струй и потоков в ограниченном пространстве топочной камеры, вторичные вихревые течения, образующие сложную структуру аэродинамики точки; конвективный перенос, турбулентная и молекулярная диффузия исходных веществ и продуктов сгорания в газовом потоке, а при сжигании твердых и жидких топлив также перенос газовых реагентов к диспергированным частицам; передача тепла, выделяющегося в ходе химических реакций в газовом потоке.

Процесс горения является нестационарным по интенсивности, кинетике и динамике протекания химических и физических процессов и ограничен весьма кратким временем пребывания горючей смеси в топочной камере. В топочной камере

процессы протекают в условиях непрерывного изменения полей температур, концентраций, скоростей и химического состояния реагирующих веществ.

Поэтому основной задачей теории горения является изучение влияния физических процессов на протекание химических реакций горения, чтобы достичь наиболее благоприятных условий протекания реакций горения.

Глубокое изучение вопросов темы 2 позволит перейти к изучению практических вопросов организации сжигания твердых, жидких и газообразных топлив в топочных камерах огнетехнических установок.

Тема 3. Теоретические основы и особенности горения топлива

В теме 3 на базе основных положений теории горения изучаются теоретические основы и особенности горения реальных топлив: газообразных, жидких и твердых.

При изучении темы 3 необходимо детально разобрать механизм процесса горения различных видов топлива, влияние различных факторов на его протекание.

Рассмотрение вопросов сжигания газов необходимо начать с изучения механизма и кинетики горения водорода, окиси углерода и метана, т. е. основных компонентов природных и искусственных газов. Затем необходимо глубоко разобраться в кинетическом, диффузионном и смешанном принципах сжигания газообразного топлива и их влиянии на структуру факела и конструктивное оформление горелок, а также в причинах нарушения устойчивости горения факела (отрыв и проскок пламени) и методах борьбы с ним.

Изучая вопрос сжигания жидкого топлива, основное внимание следует уделить механизму его горения, т. е. рассмотреть вопросы горения жидкого топлива на свободной поверхности, горение отдельной капли жидкого топлива и особенно

сти сжигания мазута в факеле. Так как жидкое топливо сжигается в виде мелкодисперсных капель, необходимо внимательно изучить вопросы распыления жидких топлив.

Вопрос горения твердых топлив необходимо начать с горения их основной составляющей – углерода. Далее рассматриваются явления, проходящие в частице твердого топлива в процессе горения. В связи с тем, что сжигание твердого топлива может осуществляться в слое или в пылевидном состоянии, необходимо рассмотреть особенности горения и газификации угля в слое и условия горения угольной пыли.

При рассмотрении горения всех видов топлива необходимо изучить вопросы интенсификации процесса горения и процессы образования окислов азота.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные задачи дисциплины «Топливо и теория горения» и ее связь с другими дисциплинами.
2. Программа развития энергетики Республики Беларусь о перспективах развития топливно-энергетического баланса страны на длительную перспективу.
3. Какие топлива называются энергетическими?
4. Приведите основные виды природных и искусственных топлив.
5. Укажите назначение и основные способы переработки твердого топлива перед его сжиганием.
6. Каково происхождение нефти и какие существуют основные способы ее добычи?
7. Перечислите основные виды газовых месторождений.
8. В чем заключается подготовка природного газа перед подачей его в магистральный газопровод?
9. Характеристики природных и искусственных горючих газов.
10. Что такое элементарный состав топлива? Приведите элементарный состав одного из сортов твердого, жидкого и газообразного топлива.
11. Что такое рабочая, сухая, горючая и органическая массы топлива? Формулы пересчета с одной массы на другую.
12. Назовите основные теплотехнические характеристики топлива.
13. Минеральные примеси топлива, их свойства. Что такое балласт топлива?
14. Что такое зола топлива? Ее основные свойства. Характеристики плавкости золы.
15. В каком виде присутствует влага в твердом топливе, жидком, газообразном? Влияние влаги на свойства топлива.

16. Что характеризует выход летучих из твердого топлива? Каков состав газов, выделяющихся при термическом распаде твердого топлива?

17. Объясните понятие условного топлива и его приведенных характеристик. Для чего введены эти понятия?

18. Что такое «теплота сгорания топлива»? Назовите способы ее определения.

19. В чем разница между высшей и низшей теплотой сгорания топлива?

20. По каким параметрам осуществляется деление твердого топлива на бурые угли, каменные угли и антрациты?

21. Перечислите марки каменных углей. По каким параметрам происходит деление каменных углей на марки?

22. Какие марки мазута применяют в качестве топлива в промышленных и отопительных котельных? Классификация мазута в зависимости от вязкости и сернистости.

23. Как рассчитать расход воздуха, необходимый для полного сгорания 1 кг углерода, водорода, серы?

24. Что такое коэффициент избытка воздуха? Как он зависит от вида топлива и способа его сжигания?

25. Приведите вывод уравнения полного горения.

26. Приведите вывод уравнения неполного горения.

27. Что такое топливная характеристика? Как определить максимальное содержание углекислоты в продуктах сгорания и его величину для различных топлив?

28. Как определить коэффициент избытка воздуха по данным газового анализа продуктов сгорания?

29. Как определить энтальпию продуктов сгорания? Таблица и диаграмма «энтальпия – температура».

30. Что такое тепловой эффект реакции? Экзотермические и эндотермические реакции.

31. Что такое химическое равновесие?

32. Классификация химических реакций.

33. Что такое скорость химических реакций?

34. Как зависит скорость химической реакции от температуры?
35. Как влияет давление на скорость реакции?
36. Что такое цепные реакции?
37. Приведите пример неразветвленной цепной реакции.
38. Приведите пример разветвленной цепной реакции.
39. Запишите реакцию горения окиси углерода и метана.
40. Запишите реакцию горения метана.
41. Объясните зависимость химического равновесия от температуры.
42. Опишите процесс диссоциации водяного пара и углекислоты.
43. Опишите процесс смесеобразования и его роль в процессе горения.
44. Что такое кинетическая, промежуточная и диффузионная область горения?
45. Объясните основные положения стационарной теории самовоспламенения.
46. Что такое концентрационные пределы зажигания? Влияние на них давления и температуры, инертных и активных примесей.
47. Что такое скорость распространения пламени? Как измерить скорость нормального распространения пламени?
48. Как зависит скорость распространения пламени от состава и температуры смеси?
49. Что такое пределы распространения пламени?
50. Опишите процессы горения однородной газовой смеси.
51. Что такое кинетические, диффузионный и смешанный принципы сжигания газа? Области их применения.
52. Опишите особенности горения газа и структуру факела при ламинарном режиме движения.
53. Опишите особенности горения газа и структуру факела при турбулентном режиме движения.

54. Что такое устойчивость горения факела и область устойчивой работы горелок?

55. Что такое проскок пламени в горелку и отрыв пламени от горелки? Меры борьбы с ними.

56. Приведите схемы газовых горелок, работающих по кинетическому, диффузионному и смешанному принципу и дайте их основные характеристики.

57. Как протекает процесс горения смеси газов с недостаточным количеством воздуха?

58. Как осуществляется искусственная стабилизация пламени при сжигании газа?

59. Перечислите и объясните основные пути интенсификации сжигания газообразных топлив.

60. Что такое беспламенное горение газов?

61. Опишите процесс горения жидкого топлива на свободной поверхности.

62. Опишите процесс горения капли жидкого топлива.

63. Приведите характеристику основных процессов, протекающих при сжигании жидкого топлива в факеле.

64. Объясните процесс распыления жидкого топлива и приведите основные схемы мазутных форсунок.

65. Опишите особенности горения мазута.

66. Перечислите и объясните основные принципы интенсификации сжигания жидких топлив.

67. Опишите процесс образования окислов азота при сжигании газа.

68. Опишите процесс образования окислов азота при сжигании высокосернистых мазутов.

69. Объясните причины светимости факела и ее зависимость от состава органической массы горючего вещества.

70. Дайте общую характеристику процесса горения частиц твердого топлива.

71. Объясните основные принципы теории гетерогенного горения.

72. Опишите процесс химического реагирования углерода с кислородом.

73. Объясните роль летучих в процессе горения твердого топлива.

74. Опишите процесс термического разложения твердых топлив, состав и выход продуктов разложения.

75. Дайте общую характеристику процесса горения угольной пыли.

76. Опишите процесс горения отдельной частицы угольной пыли.

77. Объясните различия в протекании процесса горения мелких и крупных частиц.

78. Опишите процесс горения угольной пыли в факеле.

79. Перечислите и объясните основные принципы интенсификации процесса горения твердого топлива в пылевидном состоянии.

80. Перечислите и объясните основные методы сжигания твердого топлива.

81. Приведите схему горения твердого топлива в слое на неподвижной и движущейся колосниковой решетке.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1

Задача. Для заданного в табл. 1 топлива вычислить Q_H^P по формуле Д.И. Менделеева, а затем Q_B^P . Выполнить пересчет состава заданного топлива с рабочей массы на горючую (сухую беззольную), сухую и органическую. Определить теоретически необходимое количество воздуха, теоретический объем продуктов сгорания, приведенную зольность и приведенную влажность. Топливо выбрать по предпоследней цифре шифра студента.

Таблица 1

Химический состав некоторых твердых и жидких топлив

Предпоследняя цифра шифра студента	Вид топлива	Состав рабочей массы топлива, %						
		W ^P	A ^P	S ^P	C ^P	H ^P	N ^P	O ^P
1	Донецкий длиннопламенный каменный уголь	13,0	21,8	3,0	49,3	3,6	1,0	8,3
2	Кузнецкий длиннопламенный каменный уголь	12,0	13,2	0,3	58,7	4,2	1,9	9,7
3	Подмосковный бурый уголь	32,0	25,2	2,7	28,7	2,2	0,6	8,6
4	Челябинский бурый уголь	18,0	29,5	1,0	37,3	2,8	0,9	10,5
5	Сучанский тощий каменный уголь	5,0	22,8	0,5	64,6	2,9	0,8	3,4
6	Артемовский бурый уголь	24,0	24,3	0,3	35,7	2,9	0,7	12,1
7	Эстонский сланец	13,0	40,0	2,6	24,1	3,1	0,1	3,7
8	Торф фрезерный	50,0	6,3	0,1	24,7	2,6	1,1	15,2
9	Мазут малосернистый	3,0	0,05	0,3	84,6	11,7	0,15	0,2
0	Мазут высокосернистый	3,0	0,1	2,8	83,0	10,4	0,3	0,4

Задание 2

Ответить на контрольные вопросы (номера вопросов выбрать по табл. 2 в соответствии с последней и предпоследней цифрой шифра).

Таблица 2

Номера контрольных вопросов

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	1,21,41, 61,71	2,22,42, 62,72	3,23,43, 63,73	4,24,44, 64,74	5,25,45, 65,75	6,26,46, 66,76	7,27,47, 67,77	8,28,48, 68,78	9,29,49, 69,79	10,30,50, 70,80
2	11,31,51, 71,21	12,32,52, 72,22	13,33,5, 73,23	14,34,54, 74,24	15,35,55, 75,25	16,36,56, 76,26	17,37,57, 77,27	18,38,58, 78,28	19,39, 59,79,29	20,40,60, 80,30
3	21,41,61, 1,31	22,42,62, 2,32	23,43,63, 3,33	24,44,64, 4,34	25,45,65, 5,35	26,46,66, 6,36	27,47,67, 7,37	28,48,68, 8,38	29,49, 69,9,39	30,50,70, 10,40
4	31,51,71, 11,41	32,52,72, 12,42	33,53, 73,13,43	34,54,74, 14,44	35,55,75, 15,45	36,56,76, 16,46	37,57,77, 17,47	38,58,78, 18,48	39,59, 79,19,49	40,60,80, 20,50
5	41,61,1, 21,51	42,62,2, 22,52	43,63,3, 23,53	44,64,4, 24,54	45,65,5, 25,55	46,66,6, 26,56	47,67,7, 27,57	48,68,8, 28,59	49,69,9, 29,58	50,70,10, 30,60
6	51,71,11, 31,61	52,72,12, 32,62	53,73,13, 33,63	54,74,14, 34,64	55,75,15, 35,65	56,76,16, 36,66	57,77,17, 37,67	58,78,18, 38,68	59,79,19, 39,69	60,80,20, 40,70
7	61,1,21, 41,71	62,2,22, 42,72	63,3,23, 43,73	64,4,24, 44,74	65,5,25, 45,75	66,6,26, 46,76	67,7,27, 47,77	68,8,28, 48,78	69,9,29, 49,79	70,10,30, 50,80
8	71,11,31, 51,1	72,12, 32,52,2	73,13,33, 53,3	74,14,34, 54,4	75,15,35, 55,5	76,16,36, 56,6	77,17, 37,57,7	78,18,38, 58,8	79,19,49, 69,19	80,20,40, 60,10
9	1,21,41, 61,11	2,22,42, 62,12	3,23,43, 63,13	4,24,44, 64,14	5,25,45, 65,15	6,26,46, 66,16	7,27,47, 67,17	8,28,48, 68,18	9,29,49, 69,19	10,30,50, 70,20
0	11,31,51, 71,21	12,32,52, 72,22	13,33,53, 73,23	14,34,54, 74,24	15,35,55, 75,25	16,36,56, 76,26	17,37,57, 77,27	18,38,58, 78,28	19,39,59, 79,29	20,40,60, 80,30

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Хзмалян, Д.М. Теория горения и топочные устройства: учебное пособие для вузов / Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
2. Основы практической теории горения: учебное пособие / В.В. Померанцев [и др.]; под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
3. Гущин, С.И. Расчеты горения топлив: учебное пособие / С.И. Гущин, М.М. Дагладаев. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 1995. – 48 с.
4. Григорьев, К.А. Технология сжигания органических топлив / К.А. Григорьев, Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 92 с.
5. Мунц, В.А. Основы теории горения топлив: учебное пособие / В.А. Мунц, Е.Ю. Павлюк. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 102 с.
6. Акмен, Р.Г. Топливо, основы теории горения и топочные устройства / Р.Г. Акмен. – Харьков: НТУ ХПИ, 2005. – 68 с.

Дополнительная

7. Смирнов, Н.Н. Гетерогенное горение / Н.Н. Смирнов, И.Н. Зверев. – М.: МГУ, 1992. – 126 с.
8. Эммануэль, Н.М. Цепные реакции / Н.М. Эммануэль, Г.Е. Зайков, В.А. Крицман. – М.: Наука, 1989. – 193 с.
9. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова [и др.]. – М.: Энергия, 1973 – 296 с.
10. Теплотехнический справочник: в 2 т. / сост.: В.Н. Юрнев, П.Д. Лебедев – М.: Энергия, 1975–1976. – Т.1. – 744 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
Общие указания.	4
Методические указания к разделам дисциплины.	5
Контрольные вопросы.	9
Контрольные задания.	13
Литература.	16

Учебное издание

ТОПЛИВО И ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

Составители:

СЕДНИН Владимир Александрович
КРАЕЦКАЯ Оксана Фоминична

Редактор Е.О. Коржуева
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

Подписано в печать 18.11.2011.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,05. Уч.-изд. л. 0,82. Тираж 100. Заказ 617.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.