



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник УРОПСП

Фонд оценочных средств  
(приложение к рабочей программе модуля)  
**«ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ»**

основной профессиональной образовательной программы бакалавриата  
по направлению подготовки

**13.03.01 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Профиль программы  
**«ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ»**

ИНСТИТУТ

морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

## 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
ПК-10: Способен выполнять расчеты теплоэнергетического оборудования по типовым методикам в соответствии с техническим заданием	ПК-10.1: Использует законы теории горения при проектировании теплоэнергетического оборудования с использованием типовых методик	Теория горения	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы процессов горения;</li> <li>- физико-химические процессы, протекающие в горючих веществах;</li> <li>- классификацию процессов горения и пламени;</li> <li>- особенности процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии;</li> <li>- меры безопасности при работе с горючими веществами;</li> </ul> <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать материальные балансы процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии;</li> <li>- рассчитывать основные характеристики и параметры процессов горения;</li> </ul> <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- представлениями о способах хранения и эксплуатации горючих веществ;</li> <li>- методиками определения основных характеристик горючих веществ;</li> <li>- методиками расчетов процессов горения.</li> </ul>

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- задания по темам практических занятий (для студентов очной формы обучения);
- тестовые задания по отдельным темам дисциплины;
- задания для контрольной работы (для студентов заочной формы обучения).

2.3 Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

### **3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

3.1 Задания по темам практических занятий представлены в Приложении № 1. Задания выполняются студентами очной формы обучения индивидуально по вариантам. Вариант задания определяется преподавателем. Оценивание выполняется по системе «зачтено» - «не зачтено». Критерии оценивания представлены в таблице 2.

3.2 Тестовые задания по дисциплине представлены в Приложении № 2. Целью тестирования является закрепление, углубление и систематизация знаний студентов, полученных на занятиях и в процессе самостоятельной работы; проведение тестирования позволяет ускорить контроль за усвоением знаний и объективизировать процедуру оценки знаний студента.

Оценивание осуществляется по следующим критериям, приведенным в таблице 2:

- «зачтено» – 41-100 % правильных ответов на заданные вопросы;
- «не зачтено» – 0-40 % правильных ответов.

3.3 Задание по контрольной работе выдается студентам заочной формы обучения с целью контроля качества их самостоятельной работы. Типовые задания по контрольной работе приведены в Приложении № 3. Вариант задания определяется преподавателем.

Выполненную контрольную работу студенты сдают на проверку преподавателю, который делает замечания и пишет рецензию. В случае отсутствия серьезных замечаний студент допускается к защите контрольной работы. При наличии серьезных замечаний работа направляется на доработку. Защита проводится в часы индивидуальных консультаций преподавателя. Студент, самостоятельно выполнивший задание и обладающий полнотой знаний в отношении изучаемых объектов, получает оценку «зачтено». Система оценивания и критерии оценки контрольной работы представлены в таблице 2.

### **4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета. Зачет выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. Оценка «зачтено» выставляется студентам, получившим положительную оценку («зачтено») по результатам выполнения и защиты заданий по практическим занятиям (для студентов очной формы обучения), тестирования, выполнения и защиты контрольной работы (для студентов заочной формы обучения).

4.2 В отдельных случаях (в случаях не выполнения всех видов текущего контроля) зачет может приниматься по контрольным вопросам, которые приведены в Приложении № 4. Оценивание результатов сдачи зачета («зачтено» или «не зачтено») осуществляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 2.

Универсальная система оценивания результатов обучения, приведенная в таблице 2, включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100 - балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 2 – Система и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерий	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии найти необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи	В состоянии решать поставленные	В состоянии решать поставленные	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>профессиональных задач</b>	в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	задачи в соответствии с заданным алгоритмом	ные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

## **5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ**

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Теория горения» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль «Тепловые электрические станции»).

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры энергетике (протокол № 4 от 29.03.2022).

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

## ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМАМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

(для студентов очной формы обучения)

### Задание 1. Составление уравнений реакций горения на воздухе

Составить уравнения реакций горения горючих веществ в воздухе и рассчитать стехиометрические коэффициенты.

1. амилбензол  $C_6H_5C_5H_{11}$ , аллиламин  $CH_2CHCH_2NH_2$ ;
2. амилдифенил  $C_6H_5C_6H_4C_5H_{11}$ , аллилизотиоцианат  $CH_2CHCH_2NSC$ ;
3. амилен  $C_5H_{10}$ , акриловая кислота  $CH_2CHCO_2H$ ;
4. амилнафталин  $C_{10}H_7C_5H_{11}$ , аллилацетат  $CH_2CHCH_2OC(O)CH_3$ ;
5. амилбензол  $C_6H_5C_5H_{11}$ , амиламин  $C_5H_{11}NH_2$ ;
6. антрацен  $C_{14}H_{10}$ , амилнитрат  $C_5H_{11}ONO_2$ ;
7. аллиловый спирт  $CH_2CHCH_2OH$ , амилнитрит  $C_5H_{11}ONO$ ;
8. ацетилен  $C_2H_2$ , амилсульфид  $(C_5H_{11})_2S$ ;
9. бензол  $C_6H_6$ , этилбутират  $C_3H_8CO_2C_2H_5$ ;
10. бутилбензол  $C_6H_5C_4H_9$ , хлорметилнафталин  $C_{10}H_7CH_2Cl$ ;
11. бутилциклогексан  $C_6H_{11}C_4H_9$ , метилэтилкетон  $CH_3COC_2H_5$ ;
12. бутилциклопентан  $C_5H_9C_4H_9$ , амилметилкетон  $CH_3COC_5H_{11}$ ;
13. гексадекан  $C_{16}H_{34}$ , аминокислота  $H_2NCH_2CO_2H$ ;
14. гексан  $C_6H_{12}$ , этилсалицилат  $C_6H_4(OH)CO_2C_2H_5$ ;
15. гексилциклопентан  $C_5H_{11}C_6H_{11}$ , аминокислота  $C_6H_{11}NH_2$ ;
16. гептадекан  $C_{17}H_{36}$ , фенолметилэфир  $C_6H_5OCH_3$ ;
17. гептан  $C_7H_{16}$ , этилфениловый эфир  $C_6H_5OC_2H_5$ ;
18. декан  $C_{10}H_{22}$ , анилин  $C_6H_5NH_2$ ;
19. диамилбензол  $C_6H_4(NH_2)_2$ , анизол  $C_6H_5OCH_3$ ;
20. амилнафталин  $C_{10}H_7C_5H_{11}$ , ацеталь  $CH_3CH(OH)_2$ ;
21. дивинилацетилен  $CH_2CHCCCH_2$ , ацетальдегид  $CH_3CHO$ ;
22. дигидроциклопентадиен  $C_5H_8$ , ацетилацетон  $CH_3COCH_2COCH_3$ ;
23. изобутилен  $CH_2C(CH_3)_2$ , ацетилхлорид  $CH_3COCl$ ;
24. диизопропилбензол  $C_6H_4(CH(CH_3)_2)_2$ , ацетанилид  $CH_3CONHC_6H_5$ ;
25. диметиленциклобутан  $CH_2C(CH_2)_2CCH_2$ , ацетонитрил  $CH_3CN$ ;
26. ацетон  $CH_3COCH_3$ , ацетоксим  $CH_3C(NO)CH_3$ ;
27. дифенил  $(C_6H_5)_2$ , ацетонилацетон  $CH_3CO(CH_2)_2COCH_3$ ;
28. дифенилметан  $(C_6H_5)_2CH_2$ , бензамид  $C_6H_5CONH_2$ ;

29. ацетоуксусный эфир  $CH_3COCH_2CO_2C_2H_5$ , бензилдиэтиламин  $C_6H_5CH_2N(C_2H_5)_2$ ;

30. ацетофенон  $CH_3COC_6H_5$ , бензилтиол  $C_6H_5CH_2SH$ ;

### Задание 2. Расчёт объёма воздуха, необходимого для горения веществ

Рассчитать объём воздуха и продуктов горения при сгорании горючего вещества заданной массы при заданных условиях (см. табл. П.1).

Таблица П.1

№ варианта	Вещество	Элементный состав вещества, %						$t^0$ , С	Масса вещества, кг
		С	Н	О	S	W(влажность)	A(зола)		
1	Церезин	85	14	1	0	0	0	12	3
2	Уголь	70	4	4	3	19	0	14	4
3	Древесина	46	6	37	1	10	0	16	5
4	Бензин	85	14	0	1	0	0	17	6
5	Нефть	82	8	0	10	0	0	18	7
6	Мазут	83	11	1	4	1	0	20	8
7	Керосин	80	14	3	1	2	0	22	9
8	Сланец	35	5	10	4	16	30	24	10
9	Каменный уголь	75	4	2	2	4	13	26	12
10	Антрацит	70	3	4	0,2	5,8	17	28	14

### Задание 3. Расчёт объёма и состава продуктов горения.

Определить объём и состав продуктов горения (в об. %) смеси газов, если горение происходит при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$  (см. табл. П.2).

Таблица П.2

Состав смеси (об. %)	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO оксид углерода		10				43		10		5
H <sub>2</sub> водород	50								25	5
CH <sub>4</sub> метан			20			36		20		60
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> этан				45	45		24		5	
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> пропан								14		
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> бутан	8				20					
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> этилен	20	22	28				16	2		
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> пропилен				20		21				
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ацетилен		8					10		20	
CO <sub>2</sub> углекислый газ	20	10	18	20	20		10	26		25
N <sub>2</sub> азот		50	24		15		15	25	30	
O <sub>2</sub> кислород	2		10	15			25	3	20	5
$\alpha$	1,2	2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,1	1,3

#### Задание 4. Тепловой баланс и расчёт температуры горения

Методом последовательных приближений рассчитать действительную температуру горения горючего вещества (табл. П.3), если горение протекает при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ , а доля потерь тепла излучением составляет  $\eta$ .

Таблица П.3

№ варианта	Название вещества	Элементный состав (масс. %)							$\alpha$	$\eta$
		C	H	O	S	N	W	A		
1	Антрацит	67,0	3,0	4,0	0,5	1,0	3,0	21,5	1,1	0,2
2	Сланец	24,2	1,8	4,5	3,0	2,0	25,0	39,5	1,2	0,3
3	Керосин	80,0	13,7	0,3	0	0	6,0	0	1,3	0,4
4	Бензин	85,0	8,0	5,0	0	2,0	0	0	1,4	0,3
5	Солярка	86,0	12,0	1,2	0,8	0	0	0	1,5	0,2
6	Мазут	84,0	10,0	2,0	3,0	0	1,0	0	1,6	0,3
7	Древесина	46,0	6,0	37,0	0	2,0	9,0	0	1,7	0,4
8	Уголь	72,0	6,0	4,0	2,0	3,0	13,0	0	1,8	0,3
9	Церезин	85,0	14,0	1,0	0	0	0	0	1,7	0,2
10	Торф	30,0	5,0	12,0	5,0	2,0	10,0	36,0	1,6	0,3

#### Задание 5. Расчёт теплоты сгорания

1. Рассчитать низшую теплоту сгорания органического вещества состава C – 62%, H – 8%, O – 28%, S – 2%.

2. Рассчитать теплоту сгорания газовой смеси состава (в об. %) CH<sub>4</sub> – 40%, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> – 20%, O<sub>2</sub> – 15%, H<sub>2</sub>S – 15%, NH<sub>3</sub> – 10%, CO<sub>2</sub> – 10%.

3. Рассчитать теплоту сгорания 1 м<sup>3</sup> стехиометрической смеси гексана с воздухом.

4. Вычислить теплоту образования метана, если при сжигании 10 г его в стандартных условиях выделяется 556,462 кДж тепла.

5. Определить теплоту сгорания бензилового спирта (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>O), если теплота его образования составляет -875, 4 кДж/моль.

6. При образовании октана (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) из элементов выделяется 208,45 кДж/моль тепла. Рассчитать его теплоту горения.

7. Теплота образования ацетона (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O) составляет -248,28 кДж/моль. Определить его теплоту горения и количество тепла, которое выделится при сгорании 30 г. вещества.

8. Рассчитать теплоту сгорания сульфациридазина (C<sub>11</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>N<sub>4</sub>S) без учёта потерь на испарение влаги.

9. Определить теплоту сгорания сульфобензилгидразина (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>N<sub>2</sub>S) с учётом потерь на испарение воды. Содержание влаги в веществе 20 %.

10. Определить теплоту сгорания 4, 4-диаминодифенилсульфона ( $C_{12}H_{12}O_2N_2S$ ) без учёта потерь на испарение влаги по формуле Д. И. Менделеева.

**Задание 6. Расчет концентрационных и температурных пределов воспламенения.**

1. Определить нижний концентрационный предел сгорания бутана в воздухе по предельной теплоте сгорания.

2. Определить концентрационные пределы воспламенения метанола на воздухе, если температурные пределы воспламенения равны  $7 - 39^{\circ}C$ .

3. Определить концентрационные пределы воспламенения горючей смеси состоящей из 40% пропана, 50% бутана и 10% пропилена.

4. Определить, как изменятся концентрационные пределы воспламеняемости пропана при повышении температуры на 500 К. Начальная температура – 298 К.

5. Определить концентрационные пределы воспламенения парогазовой смеси, состоящей из 20 % этана, 60 % этилена 20 % паров этилового спирта.

**Задание 7. Расчет количества воздуха, необходимого для горения веществ**

1. Определить массу и объем (теоретический) воздуха, необходимого для горения 1 кг метилового, этилового, пропилового и амилового спиртов. Построить график зависимости объема воздуха от молекулярной массы спирта.

2. Определить теоретический объем воздуха, необходимого для горения  $1\text{ м}^3$  метана, этана, пропана, бутана и пентана. Построить график зависимости объема воздуха от положения вещества в гомологическом ряду (содержания углерода в молекуле вещества).

3. Определить теоретическую массу воздуха, пошедшего на горение 1 кг метана, метилового спирта, муравьиного альдегида, муравьиной кислоты. Объяснить причину влияния состава вещества на объем воздуха, требуемого для их горения.

4. Определить объем и массу воздуха, пошедшего на горение 1 кг древесины состава: С – 47 %, Н – 8 %, О – 40 %, W – 5 %, если коэффициент избытка воздуха равен 2,8; давление 900 ГПа, температура 285 К.

5. Сколько воздуха, кг, поступило на горение 1 кг углерода, если в продуктах горения содержание кислорода составило 17 %?

6. Сколько воздуха, кг, требуется подать на сжигание  $200\text{ м}^3$  генераторного газа состава: CO – 29 %,  $H_2$  – 14 %,  $CH_4$  – 3 %,  $CO_2$  – 6,5 %,  $N_2$  – 45 %,  $O_2$  – 2,5 %, если коэффициент избытка воздуха равен 2,5?

7. Определить количество сгоревшего толуола, кг, в помещении объемом  $400 \text{ м}^3$  если после пожара при отсутствии газообмена установлено, что содержание кислорода снизилось до 17 %.

8. Сколько хлора,  $\text{м}^3$ , поступило на горение  $300 \text{ м}^3$  водорода, если в продуктах горения избыток окислителя составил  $80 \text{ м}^3$ ?

9. Определить избыток воздуха в продуктах горения газовой смеси состава:  $\text{CO} - 15 \%$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10} - 45 \%$ ,  $\text{O}_2 - 30 \%$ ,  $\text{N}_2 - 10 \%$ , если коэффициент избытка воздуха равен 1,9.

10. Сколько окислительной среды,  $\text{м}^3$ , состоящей из 50 % кислорода и 50 % азота, необходимо для горения 8 кг этилацетата, если коэффициент избытка равен 1,2; температура 265 К, давление 850 ГПа.

11. Определить коэффициент избытка окислительной среды, состоящей из 70 % кислорода и 30 % азота, если при горении серы содержание кислорода снизилось до 55 %. Определить количество сгоревшей серы (кг), если объем помещения равен  $180 \text{ м}^3$ .

12. Сколько антрацита (принять, что содержание углерода равно 100 %) сгорело в помещении объемом  $150 \text{ м}^3$ , если прекращение горения наступило при снижении кислорода до 13 %. Газообмен не учитывать.

13. Рассчитать массовый и объемный расход воздуха, необходимый для горения газового фонтана дебитом  $30 \text{ млн. м}^3/\text{сут.}$ , состоящего из  $\text{CH}_4 - 80 \%$ ,  $\text{CO}_2 - 10 \%$ ,  $\text{H}_2\text{S} - 5 \%$ ,  $\text{O}_2 - 5 \%$  при температуре воздуха  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении 105 кПа.

### **Задание 8. Расчет объема и состава продуктов горения**

1. Определить объем и состав (% об.) продуктов горения  $1 \text{ м}^3$  этилена, пропилена, бутилена, если температура горения 1800 К, давление 98 000 Па. Построить график зависимости объема продуктов горения и содержания отдельных компонентов от молекулярной массы горючего.

2. Определить объем продуктов горения и содержание паров воды и кислорода при горении 1 кг гексана, гептана, октана, декана, если температура горения 1300 К, давление 10 1325 ГПа, коэффициент избытка воздуха при горении 1,8. Построить график зависимости объема продуктов горения и содержания кислорода от молекулярной массы горючего.

3. Определить объем и состав продуктов горения 10 кг древесины состава  $\text{C} - 49 \%$ ,  $\text{H} - 6 \%$ ,  $\text{O} - 44 \%$ ,  $\text{N} - 1 \%$ , если температура горения 1250 К, коэффициент избытка воздуха 1,6.

4. Сколько продуктов горения, приведенных к нормальным условиям, образуется в результате сгорания  $25 \text{ м}^3$  газовой смеси состава  $\text{H}_2 - 45 \%$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10} - 20 \%$ ,  $\text{CO} - 5 \%$ ,  $\text{NH}_3 - 15 \%$ ,  $\text{O}_2 - 15 \%$ , если горение протекало при коэффициенте избытка воздуха, равном 3,2?

5. Определить, сколько сырой нефти состава: С – 85 %, Н – 10 %, S – 5 % выгорело в объеме 2500 м<sup>3</sup>, если содержание сернистого газа составило 2,5 м<sup>3</sup>. Рассчитать, при каком содержании кислорода наступило прекращение горения.

6. Через какое время содержание СО<sub>2</sub> в помещении объемом 300 м<sup>3</sup> в результате горения гексанола с поверхности 8 м<sup>2</sup> составит 7 %? Массовая скорость выгорания гексана 0,06 кг/(м<sup>2</sup>×с).

7. Определить содержание SO<sub>2</sub> (% об.) в объеме 1200 м<sup>3</sup> на 0,5 м<sup>2</sup> и 4 мин горения нефти состава: С – 82 %, Н – 8 %, S – 10 %, если ее скорость выгорания с площади 5 м<sup>2</sup> составила 0,4 кг/(м<sup>2</sup>×с). Построить график зависимости содержания сернистого газа от времени горения.

8. Определить объем выделившихся на 5-й мин после воспламенения продуктов горения газовой смеси состава: С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub> – 30 %, Н<sub>2</sub> – 22 %, О<sub>2</sub> – 15 %, Н<sub>2</sub>S – 18 %, СО<sub>2</sub> – 15 % и содержание двуокиси углерода, если коэффициент избытка воздуха – 1,5, температура горения 1300 К. Расход газа 5 м<sup>3</sup>/с, температура газа 295 К.

### **Задание 9. Расчет теплоты сгорания веществ**

1. Определить низшую теплоту сгорания 1 м<sup>3</sup> этана, пропана, бутана, пентана и гексана. Построить зависимость  $Q_n$  от молекулярной массы горючего. Теплота образования горючих веществ: этана - 88,4 кДж/моль, пропана - 109,4 кДж/моль, бутана - 232,4 кДж/моль, пентана - 184,4 кДж/моль, гексана - 211,2 кДж/моль.

2. Рассчитать теплоту сгорания 1 м<sup>3</sup> ацетилено-воздушной смеси на нижнем и верхнем концентрационных пределах воспламенения, а также при стехиометрической концентрации. Концентрационные пределы воспламенения (КПВ) ацетилена равны 2,0-81,0 %.

**П р и м е ч а н и е.** Построить график зависимости низшей теплоты сгорания от концентрации горючего в воздухе. При расчете теплоты сгорания смеси на ВКПВ необходимо учесть, что только часть горючего способна полностью окислиться в воздухе, остальное количество горючего не вступит в реакцию горения вследствие недостатка окислителя.

3. Определить низшую теплоту сгорания 1 кг древесины состава С – 49 %, Н – 8 %, О – 43 %. Какова удельная интенсивность тепловыделения на пожаре, если массовая скорость выгорания составляет 0,01 кг/(м<sup>2</sup>×с)?

4. Для условия предыдущей задачи определить изменение теплоты сгорания и удельной интенсивности тепловыделения при содержании влаги в древесине (сверх 100 %) в количестве 3, 5, 10 и 15 %. Скорость выгорания влажной древесины соответственно снизится до 0,009,

0,008, 0,006 и 0,005 кг/(м<sup>2</sup>×с). Построить график зависимости  $Q_n$  и  $q$  от содержания влаги в горючем материале.

**П р и м е ч а н и е.** Для решения задачи необходимо пересчитать состав древесины с учетом влаги таким образом, чтобы содержание всех компонентов равнялось 100%.

5. Определить интенсивность тепловыделения, кВт, при горении газовой смеси состава: CO – 15 %, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub> – 40 %, O<sub>2</sub> – 20 %, H<sub>2</sub> – 14 %, CO<sub>2</sub> – 11 %, если скорость истечения 0,8 м<sup>3</sup>/с.

### **Задание 10. Расчет температуры горения**

1. Определить, как изменяется адиабатическая температура горения в гомологическом ряду предельных углеводородов (на примере метана, пропана, пентана и гептана). Построить график зависимости температуры горения от молекулярной массы горючего вещества.

2. Определить, как изменяется адиабатическая температура горения древесины состава: C – 49 %, H – 8 %, O – 43 %, если содержание влаги (сверх 100 %) составляет 0, 5, 15 %. Построить график зависимости температуры горения от влажности горючего.

**П р и м е ч а н и е.** При решении задачи необходимо состав древесины пересчитать так, чтобы количество всех компонентов (в том числе и воды) составляло 100 %.

3. Определить, как изменится адиабатическая температура горения бензола в воздухе и окислительной среде, содержащей 25, 30, и 40% кислорода. Построить график зависимости температуры горения от содержания кислорода.

4. Рассчитать действительную температуру горения газовой смеси, состоящей из 45 % H<sub>2</sub>, 30 % C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, 15 % O<sub>2</sub>, 10 % N<sub>2</sub>, если потери тепла составили 30 % от  $Q_n$ , а коэффициент избытка воздуха при горении равен 1,8.

5. Определить количество сгоревшего антрацита (C = 100 %) в помещении объемом 180 м<sup>3</sup>, если среднеобъемная температура возросла с 305 до 625 К.

6. Рассчитать действительную температуру горения бутано-воздушной смеси стехиометрической концентрации на нижнем концентрационном пределе воспламенения (1,9 % бутана и 98,1 % воздуха), если потери тепла излучением составили 20 % от низшей теплоты сгорания.

7. Определить, как изменится температура горения ацетилена при разбавлении его азотом в количестве 10, 20, 30 %, если потери тепла излучением составляют 25 % от низшей теплоты сгорания, коэффициент избытка воздуха 1,2. Построить график зависимости температуры от содержания азота в ацетилене.

8. Определить время горения толуола, при котором температура в помещении объемом  $400 \text{ м}^3$  повысится с 295 до 375 К, если скорость его выгорания  $0,015 \text{ кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})$ , а площадь пожара  $50 \text{ м}^2$ . При расчете пренебречь приращением объема продуктов горения над расходуемым воздухом.

### **Задание 11. Концентрационные пределы распространения пламени (воспламенения)**

1. По предельной теплоте сгорания определить, как изменится нижний концентрационный предел воспламенения в воздухе от положения предельных углеводородов (этан, пропан, бутан, гептан, гексан) в гомологическом ряду. Построить график зависимости НКПВ от молекулярной массы горючего.

2. По аппроксимационной формуле рассчитать, как изменяются концентрационные пределы жирных спиртов (метилового, этилового, гексилового, октилового) в воздухе. Построить график зависимости нижнего и верхнего пределов воспламенения от молекулярной массы горючего.

3. Определить концентрационные пределы воспламенения сероуглерода при атмосферном давлении, равном 99000 Па, если его температурные пределы составляют 223–299 К.

4. Рассчитать концентрационные пределы воспламенения бензола, если его температурные пределы составляют 259–283 К. Определить ошибку расчета.

5. Определить концентрационные пределы воспламенения парогазовой смеси, состоящей из 20 % этана, 60 % этилена 20 % паров этилового спирта.

6. Определить концентрационные пределы воспламенения в воздухе смеси паров, состоящей из 50 % бензола, 35 % толуола и 15 % фенола при увеличении температуры с 298 до 373 К.

7. Определить, образуется ли взрывоопасная концентрация при испарении в помещении объемом  $220 \text{ м}^3$  15 кг деканола, если температура 310 К, давление 110500 Па.

8. Определить, возможно ли образование взрывоопасной концентрации при температуре 298 К над поверхностью жидкой фазы, состоящей из 25 % уксуснометилового эфира, 40 % уксусного альдегида и 35 % амилового спирта.

9. Определить состав двухкомпонентной газовой смеси, состоящей из паров аммиака и сероводорода, если известно, что ее нижний концентрационный предел воспламенения в воздухе составляет 5,8 %.

10. Определить безопасную концентрацию кислорода при разбавлении паров уксуснопропилового эфира ( $0 \text{ Дж } H = 513,7 \times 10^3 \text{ кДж/моль}$ ) в воздухе двуокисью углерода, водяным

паром и азотом. Объяснить причину различной флегматизирующей эффективности инертных газов.

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

### Вариант 1.

Компетенция ПК-10: Способен выполнять расчеты теплоэнергетического оборудования по типовым методикам в соответствии с техническим заданием.

Индикатор ПК-10.1: Использует законы теории горения при проектировании теплоэнергетического оборудования с использованием типовых методик.

**ВОПРОС 1. На образование топливных горючих ископаемых в глубине земной коры влияет:**

- А. Давление и температура.
- Б. Кислотность почв.
- В. Обводненность среды.
- Г. Продолжительность залегания.

**ВОПРОС 2. Содержание углерода в рабочей массе угля, если состав его горючей массы  $S^Г=78,5\%$ ,  $H^Г=5,6\%$ ,  $S^Г=0,4\%$ ,  $N^Г=2,5\%$ ,  $O^Г=13\%$ ,  $A^C=15\%$ ,  $W^P=5\%$  составляет:**

- А. 80%.
- Б. 78,5%.
- В. 58,7%.
- Г. 0%.

**ВОПРОС 3. Низшая теплота сгорания антрацита, имеющего следующий состав:  $S^P=76,4\%$ ,  $H^P=1,5\%$ ,  $S^P_{л}=1,7\%$ ,  $N^P=0,8\%$ ,  $O^P=1,3\%$ ,  $A^P=13,3\%$ ,  $W^P=5\%$  численно равна:**

- А.  $Q_{H^P}=40$  МДж/кг.
- Б.  $Q_{H^P}=35617$  кДж/кг.
- В.  $Q_{H^P}=20316$ кДж/кг.
- Г.  $Q_{H^P}=27230$ кДж/кг.

**ВОПРОС 4. Условным называют топливо ...**

- А. Теплота сгорания которого 29300кДж/кг.
- Б. Теплота сгорания которого определяется в калориметрической бомбе.
- В. Теплота сгорания которого определяется на горючую массу.
- Г. Топливо, в составе которого нет балластирующих компонентов.

**ВОПРОС 5. Основным составляющим компонентом природного газа является...**

- А. Водород.
- Б. Азот.
- В. Метан.
- Г. Пропан.

**ВОПРОС 6. Факел – это:**

- А. Вибрационный вид горения.
- Б. Процесс окисления, сопровождающийся появлением света и выделением тепла.
- В. Струя, в пределах которой происходит горение.
- Г. Процесс возгорания.

**ВОПРОС 7. Фронт пламени – это:**

- А. Струя, в пределах которой происходит горение.
- Б. Реакция окисления, сопровождающаяся появлением света и выделением тепла.
- В. Реакция горения в узкой полосе внутри факела.
- Г. Зона, куда диффундирует часть продуктов сгорания.

**ВОПРОС 8. На величину теплоты сгорания топлива влияет:**

- А. Температура.
- Б. Количество окислителя.
- В. Приведенная зольность.
- Г. Элементарный состав топлива.

**ВОПРОС 9. Уравнение для расчета теоретического количества воздуха при сгорании твердого топлива имеет вид:**

- А.  $0,0478[0,5(\text{CO} + \text{H}_2) + 1,5\text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + \Sigma(m+n/4)\text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2]$ .
- Б.  $0,79V^0 + 0,8N^P/100$ .
- В.  $0,01[\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \Sigma m\text{C}_m\text{H}_n]$ .
- Г.  $0,089C^P + 0,226H^P + 0,033(S^P - O^P)$ .

**ВОПРОС 10. Мера тепловой энергии, накапливаемой веществом при его образовании, называется...**

- А. Теплосодержанием.
- Б. Теплопроводностью.
- В. Температурой.
- Г. Теплоемкостью.

**ВОПРОС 11. Количество тепла, необходимое для повышения температуры вещества на один градус, называется...**

- А. Теплосодержанием.
- Б. Теплопроводностью.
- В. Температурой.
- Г. Теплоемкостью.

**ВОПРОС 12. Знак «минус» в уравнении скорости реакции  $u_p = - d[A]/dt = d[C]/dt$  означает:**

- А. Уменьшение во времени концентрации реагирующих веществ.
- Б. Уменьшение во времени концентрации продуктов реакции.
- В. Реакция протекает в обратном направлении.
- Г. Реакция может протекать только в присутствии катализатора.

**ВОПРОС 13. Жаропроизводительность – это**

- А. Максимальная температура, развиваемая при полном сгорании топлива, когда выделяемое тепло полностью расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания.
- Б. Температура, развиваемая при сжигании топлива при подогреве воздуха, подаваемого на горение.
- В. Теплота сгорания топлива.
- Г. Теплота сгорания условного топлива.

**ВОПРОС 14. Цепная реакция горения – это...**

- А. реакция, в ходе которой исходные вещества вступают в цепь превращений с участием промежуточных активных частиц и их регенерацией на каждой элементарной стадии реакции;
- Б. реакция, сопровождающаяся интенсивным выделением тепла;
- В. реакция с прогрессивным самоускорением за счёт выделяющегося в реакции тепла;
- Г. обратимая химическая реакция.

**ВОПРОС 15. Кинетическим горением называется:**

- А. Горение, при котором скорость химической реакции зависит от скорости поступления реагирующих компонентов путем молекулярной или кинетической диффузии.
- Б. Горение заранее перемешанных горючего газа, пара или пыли с окислителем. Скорость процесса зависит от физико-химических свойств горючей смеси.
- В. Вихревое движение газов, при котором интенсивно перемешиваются сгорающие газы, и фронт пламени размывается.
- Г. Горение, при котором распространение пламени происходит при отсутствии внешних возмущений.

**ВОПРОС 16. Значение константы химического равновесия экзотермической реакции горения с ростом температуры:**

- А. увеличивается;
- Б. уменьшается;
- В. не меняется;
- Г. сначала увеличивается, затем уменьшается.

**ВОПРОС 17. Дефлаграционное горение – это...**

- А. Процесс распространения пламени по горючей газовой смеси, при котором самоускоряющаяся реакция горения распространяется вследствие разогрева путем теплопроводности от соседнего слоя продуктов реакции.
- Б. Распространение горения путем воспламенения ударной волной.
- В. Вихревое движение газов, при котором интенсивно перемешиваются сгорающие газы, и фронт пламени размывается.
- Г. Горение, при котором распространение пламени происходит при отсутствии внешних возмущений.

**ВОПРОС 18. Температура вспышки – это...**

- А. Температура, при которой нефтепродукт загустевает так, что при наклоне пробирки под углом 45° уровень продукта остается неподвижным.
- Б. Температура, при которой нагреваемый продукт загорается при поднесении пламени.
- В. Температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать при поднесении пламени.
- Г. Температура вещества, при которой вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое пламенное горение.

**Вариант 2.**

Компетенция ПК-10: Способен выполнять расчеты теплоэнергетического оборудования по типовым методикам в соответствии с техническим заданием.

Индикатор ПК-10.1: Использует законы теории горения при проектировании теплоэнергетического оборудования с использованием типовых методик.

**ВОПРОС 1. Топливные горючие ископаемые разделяют в зависимости от исходного материала на:**

- А. Торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит.
- Б. Гумитовые, липтобиолитовые, сапропелитовые, смешанные.
- В. Витрен, фюзен, кларен, дюрен.
- Г. Низкотемпературные, среднетемпературные, высокотемпературные.

**ВОПРОС 2. Содержание углерода в горючей массе угля марки Г, если состав его рабочей массы следующий:  $C^P=48,5\%$ ,  $H^P=3,6\%$ ,  $N^P=0,8\%$ ,  $O^P=4\%$ ,  $S^P=6,1\%$ ,  $A^C=33\%$ ,  $W^P=6\%$ , численно равно:**

- А. 77%.
- Б. 48,5%.
- В. 34,8%.
- Г. 100%.

**ВОПРОС 3. Высшая теплота сгорания рабочей массы угля, имеющего следующий состав:  $C^P=37,3\%$ ,  $H^P=2,8\%$ ,  $S^P_{л}=1\%$ ,  $N^P=0,9\%$ ,  $O^P=10,5\%$ ,  $A^P=29,5\%$ ,  $W^P=18\%$  численно равна:**

- А. 15077кДж/кг.
- Б. 13997кДж/кг.
- В. 23980кДж/кг.
- Г. 5370кДж/кг.

**ВОПРОС 4. Основным составляющим компонентом коксового газа является:**

- А. Водород.
- Б. Азот.
- В. Метан.
- Г. Пропан.

**ВОПРОС 5. Лимитирующей стадией в процессе горения является:**

- А. Реакция окисления.
- Б. Процесс смешения топлива с окислителем.
- В. Процесс возгорания.
- Г. Детонация.

**ВОПРОС 6. Теплотой сгорания топлива называется:**

- А. Масса тепловой энергии, накапливаемой веществом при его образовании.
- Б. Количество тепла, необходимое для повышения температуры вещества на один градус.
- В. Количество теплоты, переносимой за время  $dt$  через поверхность  $dS$  по направлению нормали к этой поверхности.
- Г. Количество теплоты, выделяемой при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива.

**ВОПРОС 7. Наибольшим тепловым эффектом, в расчете на единицу массы, характеризуется реакция горения в кислородной среде :**

- А. водорода  $H_2$ ;
- Б. углерода  $C$ ;
- В. серы  $S$ ;
- Г. азота  $N_2$ .

**ВОПРОС 8. Уравнение для расчета теоретического количества воздуха при сгорании газообразного топлива имеет вид:**

- А.  $0,0478[0,5(\text{CO} + \text{H}_2) + 1,5\text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + \Sigma(m+n/4)\text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2]$ .
- Б.  $0,79V^0 + 0,8N^P/100$ .
- В.  $0,01[\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \Sigma m\text{C}_m\text{H}_n]$ .
- Г.  $0,089\text{C}^P + 0,226\text{H}^P + 0,033(\text{S}^P - \text{O}^P)$ .

**ВОПРОС 9. Мера тепловой энергии, накапливаемой веществом при его образовании, называется**

- А. Теплоемкостью.
- Б. Теплопроводностью.
- В. Температурой.
- Г. Теплосодержанием.

**ВОПРОС 10. Количество тепла, необходимое для повышения температуры вещества на один градус, называется**

- А. Теплоемкостью.
- Б. Теплопроводностью.
- В. Температурой.
- Г. Теплосодержанием.

**ВОПРОС 11. Параметр «А» в уравнении скорости реакции  $u_P = -d[A]/dt = d[C]/dt$  означает:**

- А. Концентрацию продуктов реакции.
- Б. Концентрацию реагирующих веществ.
- В. Константу скорости химической реакции.
- Г. Стехиометрический коэффициент компонента реакции.

**ВОПРОС 12. Калориметрическая температура – это...**

- А. Максимальная температура, развиваемая при полном сгорании топлива, когда выделяемое тепло полностью расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания.
- Б. Температура, развиваемая при сжигании топлива при подогреве воздуха, подаваемого на горение.
- В. Теоретическая температура горения.
- Г. Температура, при которой определяют теплоту сгорания топлива в калориметрической бомбе.

**ВОПРОС 13. Хемосорбция – это...**

- А. Поверхностное поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем другого вещества, при котором образуются химические соединения адсорбата с адсорбентом.
- Б. Поверхностное поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем другого вещества, при котором захваченные частицы сохраняют свои свойства.
- В. Процесс разделения, основанный на способности некоторых твердых веществ (ионитов) обменивать свои подвижные ионы на ионы растворов электролитов.
- Г. Извлечение вещества, растворенного в жидкости, другой жидкостью, практически не смешивающейся или частично смешивающейся с первой.

**ВОПРОС 14. Диффузионным горением называется:**

- А. Это горение, при котором скорость химической реакции зависит от скорости поступления реагирующих компонентов путем молекулярной или кинетической диффузии.
- Б. Это горение заранее перемешанных горючего газа, пара или пыли с окислителем. Скорость процесса зависит от физико-химических свойств горючей смеси.
- В. Вихревое движение газов, при котором интенсивно перемешиваются сгорающие газы, и фронт пламени размывается.
- Г. Горение, при котором распространение пламени происходит при отсутствии внешних возмущений.

**ВОПРОС 15. Нормальное горение – это...**

- А. Процесс распространения пламени по горючей газовой смеси, при котором самоускоряющаяся реакция горения распространяется вследствие разогрева путем теплопроводности от соседнего слоя продуктов реакции.
- Б. Распространение горения путем воспламенения ударной волной.
- В. Вихревое движение газов, при котором интенсивно перемешиваются сгорающие газы, и фронт пламени размывается.
- Г. Горение, при котором распространение пламени происходит при отсутствии внешних возмущений.

**ВОПРОС 16. Из перечисленных реакций, реакцией горения является:**

- А.  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$ .
- Б.  $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Q}$ .
- В.  $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{Q}$ .
- Г.  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO} - \text{Q}$

**ВОПРОС 17. Уравнение критерия Рейнольдса имеет вид:**

- А.  $wl\rho/\mu$ .
- Б.  $\nu\rho c_p/\lambda$ .
- В.  $\text{ат}/l^2$ .
- Г.  $\beta g l^3 \Delta t / \nu^2$ .

**ВОПРОС 18. Температура самовоспламенения – это...**

- А. Наименьшая температура вещества, при которой вещество выделяет горючие газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания возникает устойчивое горение.
- Б. Температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать при поднесении пламени.
- В. Наименьшая температура окружающей среды, при которой наблюдается резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся горением или взрывом.
- Г. Температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся возникновением тления.

**Вариант 3.**

Компетенция ПК-10: Способен выполнять расчеты теплоэнергетического оборудования по типовым методикам в соответствии с техническим заданием.

Индикатор ПК-10.1: Использует законы теории горения при проектировании теплоэнергетического оборудования с использованием типовых методик.

**ВОПРОС 1. При сжигании топлива с коэффициентом избытка воздуха меньше единицы ( $\alpha < 1$ ) горение...**

- А. Сдвигается в сторону верхней концентрационной границы воспламенения.
- Б. Сдвигается в сторону нижней концентрационной границы воспламенения.
- В. Коэффициент расхода воздуха не влияет на концентрационные границы воспламенения.
- Г. Протекает при стехиометрических условиях

**ВОПРОС 2. Содержание углерода в горючей массе эстонских сланцев, если известен состав их рабочей массы:  $C^P=24,1\%$ ,  $H^P=3,1\%$ ,  $S^P=1,6\%$ ,  $O^P=3,7\%$ ,  $N^P=0,1\%$ ,  $A_n^P=40\%$ ,  $W^P=12\%$ ,  $(CO_2)_k^P=14,4\%$  численно равно:**

- А. 24,1%.
- Б. 18,5%.
- В. 22,8%.
- Г. 74,0%.

**ВОПРОС 3. Высшая теплота сгорания горючей и сухой масс угля, если известны следующие величины:  $Q_n^P=19680$ кДж/кг,  $H^P=3,6\%$ ,  $A^P=31\%$ ,  $W^P=6\%$ , численно равна:**

- А.  $Q_B^C=19680$ кДж/кг;  $Q_B^G=19680$ кДж/кг.
- Б.  $Q_B^C=21961$ кДж/кг;  $Q_B^G=32635$ кДж/кг.
- В.  $Q_B^C=34890$ кДж/кг;  $Q_B^G=23789$ кДж/кг.
- Г.  $Q_B^C=12670$ кДж/кг;  $Q_B^G=18568$ кДж/кг.

**ВОПРОС 4. Балласт твердого топлива составляет...**

- А. Углерод, водород, азот, кислород.
- Б. Минеральные примеси, влага.
- В. Летучие вещества.
- Г. Кислород, азот, сера, влага, зольность.

**ВОПРОС 5. При поступлении на горение углеводородного горючего только теоретического количества воздуха состав продуктов сгорания таков:**

- А. Продукты сгорания содержат CO, сажистый углерод, окислы азота.
- Б. Продукты сгорания содержат CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.
- В. Продукты сгорания содержат C, H, N, S, O, W.
- Г. Продукты сгорания избыточное количество воздуха.

**ВОПРОС 6. Лимитирующей стадией в процессе горения является:**

- А. Реакция окисления.
- Б. Процесс смешения топлива с окислителем.
- В. Процесс возгорания.
- Г. Детонация.

**ВОПРОС 7. Коэффициент избытка воздуха влияет на длину факела следующим образом:**

- А. С увеличением коэффициента избытка воздуха длина факела уменьшается.
- Б. С увеличением коэффициента избытка воздуха длина факела увеличивается.
- В. Коэффициент избытка воздуха не влияет на длину факела.
- Г. При теоретическом коэффициенте избытка воздуха факел не образуется.

**ВОПРОС 8. Низшей теплотой сгорания топлива называется:**

- А. Масса тепловой энергии, накапливаемой веществом при его образовании.
- Б. Количество тепла, необходимое для повышения температуры вещества на один градус.

В. Количество теплоты, переносимой за время  $dt$  через поверхность  $dS$  по направлению нормали к этой поверхности.

Г. Количество теплоты, выделяемой при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива, без учета теплоты конденсации водяного пара.

**ВОПРОС 9. Теплоемкостью вещества называется**

А. Масса тепловой энергии, накапливаемой веществом при его образовании.

Б. Количество тепла, необходимое для повышения температуры вещества на один градус.

В. Количество теплоты, переносимой за время  $dt$  через поверхность  $dS$  по направлению нормали к этой поверхности.

Г. Количество теплоты, выделяемой при полном сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива.

**ВОПРОС 10. Уравнение для расчета высшей теплоты сгорания твердого топлива имеет вид:**

А.  $338C^P + 1025H^P - 108,5(O^P - S^P) - 25W^P$ .

Б.  $108H + 126CO + 234H_2S + 358CH_4 + 591C_2H_4 + 638C_2H_6 + 860C_3H_6 + 913C_3H_8 + 1135C_4H_8 + 1187C_4H_{10} + 1461C_5H_{12} + 1403C_6H_6$ .

В.  $338C^P + 1250H^P - 108,5(O^P - S^P)$ .

Г.  $0,089C^P + 0,226H^P + 0,033(S_L^P - O^P)$ .

**ВОПРОС 11. Топливный факел – это...**

А. Вибрационный вид горения.

Б. Процесс окисления, сопровождающийся появлением света и выделением тепла.

В. Струя, в пределах которой происходит горение.

Г. Процесс возгорания.

**ВОПРОС 12. Что означает «к» в уравнении скорости реакции**

$v_p = k[A][B]$ .

А. Константа скорости химической реакции.

Б. Общий порядок реакции.

В. Общее число соударений молекул.

Г. Константа равновесия реакции.

**ВОПРОС 13. Суммарный объем продуктов сгорания – это:**

А. Количество сухих продуктов сгорания, образующихся после конденсации водяных паров при полном сгорании единицы объема или массы топлива со стехиометрическим объемом воздуха.

Б. Количество сухих продуктов сгорания, образующихся при сжигании единицы объема или массы топлива после конденсации водяного пара при фактическом коэффициенте расхода воздуха.

В. Минимальное количество воздуха, необходимое для полного сжигания единицы объема или массы топлива.

Г. Общий объем продуктов сгорания, включая водяные пары, образующихся при полном сгорании единицы объема или массы топлива со стехиометрическим объемом воздуха.

**ВОПРОС 14. Теоретическая температура – это:**

А. Максимальная температура, развиваемая при полном сгорании топлива, когда выделяемое тепло полностью расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания.

- Б. Температура, развиваемая при сжигании топлива при подогреве воздуха, подаваемого на горение.
- В. Температура горения, при которой учитывается расход тепла на диссоциацию продуктов сгорания.
- Г. Температура, при которой определяют теплоту сгорания топлива в калориметрической бомбе.

**ВОПРОС 15. Пиролиз – это...**

- А. Прогрев твердой фазы до температуры плавления.
- Б. Термическое разложение горючего вещества без доступа воздуха.
- В. Смешение горючего с окислителем.
- Г. Превращение продуктов разложения в газообразные продукты горения.

**ВОПРОС 16. Процесс инициирования начального очага горения в горючей смеси за счет ввода в смесь извне высокотемпературного источника тепловой энергии называется:**

- А. Зажиганием.
- Б. Тепловым самовоспламенением.
- В. Самовозгоранием.
- Г. Цепным самовоспламенением.

**ВОПРОС 17. Формула для определения скорости распространения пламени имеет вид:**

- А.  $\ln \exp(-E/RT_{\Gamma})$ .
- Б.  $k e^{-E/RT}$ .
- В.  $-d[A]/d\tau = d[C]/d\tau$ .
- Г.  $\lambda/c_p$ .

**ВОПРОС 18. Температура воспламенения – это:**

- А. Наименьшая температура вещества, при которой вещество выделяет горючие газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания возникает устойчивое горение.
- Б. Температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать при поднесении пламени.
- В. Наименьшая температура окружающей среды, при которой наблюдается резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся горением или взрывом.
- Г. Температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся возникновением тления.

## ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ (заочная форма обучения)

**Задание 1.** Рассчитать объем и массу окислительной среды, необходимые для горения  $i$ -го горючего вещества (табл. П.4).

Таблица П.4

Номер варианта	Горючее вещество	Химическая формула	Кол-во горючего	Состав окислительной среды	Условия горения
1	Метиловый спирт	$\text{CH}_3\text{OH}$	2 кг	Воздух	$T = 300 \text{ K}$ $P = 101325 \text{ Па}$ $\alpha = 3$
2	Анилин	$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	5 кг	$\text{O}_2 - 70\%$ $\text{N}_2 - 30\%$	$T = 290 \text{ K}$ $P = 90000 \text{ Па}$ $\alpha = 2,5$
3	Смесь газов	$\text{CO} - 45\%$ $\text{N}_2 - 15\%$ $\text{C}_4\text{H}_8 - 10\%$ $\text{O}_2 - 30\%$	$3 \text{ м}^3$	Воздух	Нормальные $\alpha = 1,8$
4	Нитробензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	30 кг	Воздух	$T = 280 \text{ K}$ $P = 98000 \text{ Па}$ $\alpha = 2,5$
5	Сложное вещество	$\text{C} - 65\%$ $\text{O} - 20\%$ $\text{H} - 5\%$ $\text{S} - 10\%$	200 г	Воздух	Нормальные $\alpha = 1,4$
6	Этилен	$\text{C}_2\text{H}_4$	$5 \text{ м}^3$	$\text{O}_2 - 20\%$ $\text{N}_2 - 75\%$	Нормальные $\alpha = 2,5$
7	Сера	$\text{S}$	2 кг	$\text{O}_2 - 60\%$ $\text{N}_2 - 40\%$	$\alpha = 1,8$ $T = 350 \text{ K}$ $P = 120000 \text{ Па}$
8	Сложное вещество	$\text{C} - 90\%$ $\text{H} - 3\%$ $\text{N} - 5\%$ $\text{O} - 2\%$	1 кг	Воздух	$T = 300 \text{ K}$ $P = 95000 \text{ Па}$ $\alpha = 1,5$

**Задание 2.** Рассчитать объем образующихся продуктов,  $\text{м}^3$ , и содержание в них азота (% об.) при горении  $i$ -го вещества (табл. П.5).

Таблица П.5

Номер варианта	Горючее вещество	Химическая формула	Кол-во горючего	Состав окислительной жидкости	Условия горения
1	Диэтиловый спирт	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	1 кг	Воздух	$T_z = 1500 \text{ K}$ $P = 101400 \text{ Па}$ $\alpha = 2,5$

Номер варианта	Горючее вещество	Химическая формула	Кол-во горючего	Состав окислительной жидкости	Условия горения
2	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	5 кг	- « -	$T_z=1200$ К $P=98000$ Па $\alpha=2,6$
3	Сплав	Mg – 20% Al – 80%	1 кг	- « -	$T_z=2800$ К $P=95000$ Па $\alpha=1,6$
4	Смесь газов	$CH_4$ – 20% $C_3H_8$ – 65% $O_2$ – 15%	1 м <sup>3</sup>	- « -	$T_z=1480$ К $P=101300$ Па $\alpha=2,4$
5	Октиловый спирт	$C_8H_{18}O$	10 кг	- « -	$T_z=1320$ К $P=102000$ Па $\alpha=2,5$
6	Сложное вещество	C – 90% H – 5% O – 5%	1 кг	- « -	$T_z=1320$ К $P=97000$ Па $\alpha=1,6$
7	Смесь газов	$NH_3$ – 10% $C_4H_{10}$ – 80% $N_2$ – 7% $O_2$ – 3%	1 м <sup>3</sup>	- « -	$T_z=1600$ К $P=101300$ Па $\alpha=1,2$
8	Анилин	$C_6H_7N$	1 кг	- « -	$T_z=1550$ К $P=94000$ Па $\alpha=1,7$
9	Диэтиловый эфир	$(C_2H_5)_2O$	25 кг	- « -	$T_z=1600$ К $P=101300$ Па $\alpha=2,5$
10	Смесь газов	CO – 70% $C_3H_8$ – 25% $O_2$ – 5%	1 м <sup>3</sup>	$O_2$ – 42% $N_2$ – 58%	$T_z=1400$ К $P=101300$ Па $\alpha=2,5$
11	Нитробензол	$C_6H_5NO_2$	2 кг	Воздух	$T_z=1800$ К $P=87000$ Па $\alpha=1,8$
12	Сложное вещество	CO – 70% H – 6% O – 14% W – 10%	1 кг	- « -	$T_z=1300$ К $P=97000$ Па $\alpha=1,3$
13	Смесь газов	$CH_4$ – 60% $CO_2$ – 30% $H_2$ – 10%	1 м <sup>3</sup>	- « -	$T_z=1500$ К $P=101300$ Па $\alpha=1,2$
14	Диметиловый эфир	$(CH_3)_2O$	10 кг	$O_2$ – 30% $N_2$ – 70%	$T_z=1800$ К $P=87000$ Па $\alpha=1,8$
15	Глицерин	$C_3H_8O_3$	1 кг	$O_2$ – 27% $N_2$ – 73%	$T_z=1600$ К $P=101300$ Па $\alpha=2,1$
16	Сложное вещество	C – 80% H – 12% O – 8%	1 кг	Воздух	$T_z=1350$ К $P=99000$ Па $\alpha=1,8$

**Задание 3.** Рассчитать температуру горения  $i$ -го вещества (табл. П.6).

Таблица П.6

Номер варианта	Горючее вещество	Химическая формула	Состав окислительной среды	Условия горения
1	Смесь газов	CO – 40% C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – 50% CO <sub>2</sub> – 10%	Воздух	$\alpha = 1,4$ $\eta = 0,25$
2	Вещество сложного состава	C – 80%, H – 5%, S – 6%, W – 9%	- « -	$\alpha = 1,6$ $\eta = 0,3$
3	Пропионовая кислота	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> – 25% N <sub>2</sub> – 75%	$\alpha = 1,3$ $\eta = 0,4$
4	Глицерин	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	Воздух	$\alpha = 1,0$ $\eta = 0,35$
5	Уксускобутиловый эфир	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	- « -	$\alpha = 1,4$ $\eta = 0,15$
6	Этилбензол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	- « -	$\alpha = 1,5$ $\eta = 0,2$
7	Вещество сложного состава	C – 82%, H – 8% O – 5%, W – 5%	- « -	$\alpha = 1,0$ $\eta = 0,35$
8	Смесь газов	CO – 60% H <sub>2</sub> – 40%	- « -	$\alpha = 1,8$ $\eta = 0,4$
9	Аммиак	NH <sub>3</sub>	- « -	$\alpha = 1,0$ $\eta = 0,2$
10	Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	- « -	$\alpha = 1,4$ $\eta = 0,15$
11	Нитроэтан	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub>	- « -	$\alpha = 1,5$ $\eta = 0,2$
12	Гексиловый спирт	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	Воздух	$\alpha = 2,0$ $\eta = 0,1$

**Задание 4.** Рассчитать концентрационные пределы воспламенения паров  $i$ -го вещества в воздухе. Результаты расчета сравнить с имеющимися справочными данными и определить относительную ошибку (табл. П.7).

Таблица П.7

Номер варианта	Горючее вещество	Химическая формула	Условие задачи
1	Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	По предельной теплоте сгорания
2	Смесь газов	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> – 40% C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> – 60%	По формуле Ле-Шателье
3	Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	По аппроксимационной формуле

Номер варианта	Горючее вещество	Химическая формула	Условие задачи
4	Уксусный альдегид	$C_2H_4O$	По предельной теплоте сгорания
5	Бензол	$C_6H_6$	По температурным пределами воспламенения
6	Ацетон	$C_3H_6O$	По температурным пределами воспламенения
7	Смесь газов	$CH_4 - 40\%$ $CO - 50\%$ $C_3H_8 - 10\%$	По формуле Ле-Шателье
8	Амиловый спирт	$C_5H_{12}O$	По температурным пределами воспламенения
9	Этан	$C_2H_6$	По предельной теплоте сгорания
10	Толуол	$C_7H_8$	По температурным пределами воспламенения
11	Смесь газов	$CO - 70\%$ $CH_4 - 25\%$ $C_2H_6 - 5\%$	По формуле Ле-Шателье
12	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	По аппроксимационной формуле
13	Уксусноэтиловый эфир	$C_4H_8O_2$	По температурным пределами воспламенения
14	Глицерин	$C_3H_8O_3$	По аппроксимационной формуле
15	Ацетон	$C_3H_6O$	По аппроксимационной формуле
16	Смесь газов	$C_3H_8 - 70\%$ $CH_4 - 30\%$	По формуле Ле-Шателье

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, КОТОРЫЕ ПРИ  
НЕОБХОДИМОСТИ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В ФОРМЕ ЗАЧЕТА**

1. Какие отечественные и зарубежные ученые внесли вклад в развитие науки о горении?
2. Какие загрязняющие вещества образуются при горении?
3. Назовите основные газовые законы.
4. В чем принципиальное отличие идеальных газов от реальных?
5. Что такое критические параметры состояния газов?
6. Назовите основные физико-химические свойства газов?
7. Что такое горение? Охарактеризуйте тепловой эффект реакции горения.
8. Приведите химические уравнения реакций горения водорода и оксида углерода.
9. Приведите реакции горения любого углеводородного газа.
10. В чем сущность цепного механизма реакций горения?
11. Приведите пример цепной реакции горения водорода.
12. Как производится расчет продуктов горения?
13. Что такое жаропроизводительность? Приведите формулу её определения.
14. В чём отличие калориметрической и теоретической температур горения?
15. Как рассчитать действительную температуру горения?
16. Что понимают под температурой воспламенения?
17. Что понимают под нижним и верхним концентрационным пределом воспламенения?
18. Как можно рассчитать давление, возникающее при взрыве газов?
19. Что понимают под нормальной скоростью распространения пламени?
20. Приведите значения максимальной нормативной скорости распространения пламени для различных горючих газов.
21. В каком случае горения имеет место равномерная скорость распространения пламени?
22. Дайте характеристику распространения пламени в ламинарном потоке.
23. Охарактеризуйте распространение пламени в турбулентном потоке.
24. Что такое отрыв пламени и каковы его последствия?
25. Что такое проскок пламени и каковы его последствия?
26. Какие вы знаете методы стабилизации пламени?

27. При каких значениях скоростей может произойти проскок пламени при сжигании природного и сжиженного газа?

28. Как можно рассчитать максимальные значения скоростей смеси газа с воздухом, при которых возможен проскок пламени?

29. Какие принципы сжигания газов вы знаете?

30. Дайте характеристику диффузионного принципа сжигания газов.

31. Дайте характеристику кинетического способа сжигания газов.

32. Охарактеризуйте диффузионно-кинетический метод сжигания газов.

33. Охарактеризуйте структуру свободного диффузионного пламени в случаях ламинарного и турбулентного горения.

34. В чем принципиальное отличие строения ламинарного и турбулентного пламени?