

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шамсутдинов Расим Адегамович

Должность: Директор ЛФ КНИТУ-КАИ

Дата подписания: 23.12.2021 06:14:34

Уникальный программный ключ:

d31c25eab5d6fbb0cc50e03a64dfdc00329a085e3a993ad1080663082c961114

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Лениногорский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Казанский
национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»**

Кафедра Экономики и менеджмента

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Теория горения и взрыва (Б1.В.05)

Автор: д.э.н., профессор Гумеров А.В.

Лениногорск, 2021

I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические материалы по выполнению практических работ являются пособием, предназначенным для организации практической работы студентов, изучающих дисциплину «Теория горения и взрыва», так и для подготовки к профессиональной деятельности, обеспечивающей рациональное управление экономикой, производством и социальным развитием предприятий всех организационно-правовых форм с учетом состояния экономики, техники, технологии, организации производства, эффективного природопользования.

Методические материалы по выполнению практических работ составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, а также рабочей программы дисциплины «Теория горения и взрыва».

В методических материалах по выполнению практических работ представлена единая структура изложения изучаемых тем, включающая: основные вопросы, выносимые на практических занятиях, структуру и ход выполнения практического задания. Особое внимание в методических рекомендациях уделено работе студента с литературными источниками и интернет сайтами.

Методические материалы по выполнению практических работ следует использовать по мере прохождения тем дисциплины. Критериями оценки является полнота и правильность выполнения заданий, что характеризует знание и понимание студентами базовых аспектов изучаемой дисциплины.

II. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Раздел 1. Явления горения и взрыва

Практическая работа № 1

Ознакомление с основными параметрами, видами и режимами горения

1. В ходе выполнения практической работы необходимо изучить следующие вопросы:
 1. Понятие горения.
 2. Воспламенение и зажигание.
 3. Взрыв. Типы взрывов.
 4. Классификация взрывов по плотности вещества, по типам химических реакций.
 5. Энергия и мощность взрыва.
 6. Ударные и детонационные волны.
 7. Дефлаграционное горение.
 8. Взрывное горение.
 9. Детонационное горение.
 10. Гомогенное горение.
 11. Гетерогенное горение.
 12. Полное горение.
 13. Неполное горение.
 14. Тепловое горение.
 15. Цепное горение.
2. Основные положения записать в тетрадь

Практическая работа №2

Типовые расчеты реакций горения

Задание 1. Рассчитайте коэффициент горючести стеариновой кислоты $C_{18}H_{36}O_2$.

Задание 2. Составьте уравнения реакции горения в кислороде и в воздухе данного вещества, и определите, сколько молей исходных веществ участвовало в реакции и сколько молей продуктов горения образовалось при полном сгорании этилового эфира уксусной кислоты C_4H_8O .

Задание 3. Какой теоретический объем воздуха необходим для полного сгорания 1 кг диэтилового эфира $C_2H_5OC_2H_5$? Температура $10^\circ C$, давление 1,2 атм.

Задание 4. Какой объем воздуха необходим для полного сгорания 50 кг ацетона CH_3COCH_3 при температуре $23^\circ C$ и давлении 95 кПа, если

Примеры выполнения заданий.

Пример 1. Рассчитайте коэффициент горючести глюкозы.

Решение. В молекуле глюкозы $C_6H_{12}O_6$ содержится 6 атомов углерода, 12 атомов водорода и 6 атомов кислорода, исходя из этого формула расчета коэффициента горючести будет иметь вид: $K = 4 \times 6(C) + 1 \times 12(H) - 2 \times 6(O)$; $K = 24 + 12 - 12 = 24$; $K > 1$, следовательно, глюкоза – горючее вещество.

Пример 2. Составьте уравнения реакции горения глюкозы в кислороде и воздухе.

Решение. Реакция горения в чистом кислороде будет протекать по следующему уравнению: $C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$, По скольку в состав исходного вещества входят углерод и водород, основными продуктами горения будут углекислый газ и вода. Расставляем стехометрические коэффициенты: $C_6H_{12}O_6 + 5 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$, Коэффициент перед молекулой кислорода 5, следовательно, для данных условий $\beta = 5$. 1. В воздухе горение будет протекать по уравнению: $C_6H_{12}O_6 + 5(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 5 \times 3,76N_2$

Пример 3. Рассчитайте, сколько молей исходных веществ участвовало и сколько молей продуктов горения образовалось при полном сгорании 1 моля бензойной кислоты.

Решение. 1. Запишем уравнение реакции горения бензойной кислоты: $C_7H_6O_2 + 7,5(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow 7CO_2 + 3H_2O + 7,5 \times 3,76 N_2$, 2. Исходные вещества: - 1 моль бензойной кислоты; - 7,5 молей кислорода; - $7,5 \times 3,76$ молей азота. Газов воздуха всего 35,7 молей. Всего $(1 + 35,7)$ молей исходных веществ. 3. Продукты горения: - 7 молей углекислого газа; - 3 моля воды; - $7,5 \times 3,76$ моля азота. Всего $(7 + 3 + 7,5 \times 3,76)$ молей продуктов горения.

Практическая работа № 3

Определение отдельных параметров, необходимых для горения индивидуальных горючих веществ

Задание 1. 1. Определите объем воздуха, необходимого для горения 5 м смеси газов, состоящих из 20% – CH_4 ; 40% – C_2H_2 ; 10% – CO ; 5% – N_2 и 25% – O_2 , если коэффициент избытка воздуха 1,8.

Задание 2. Определите коэффициент избытка воздуха при горении уксусной кислоты, если на горение 1 кг поступило 3 м³ воздуха

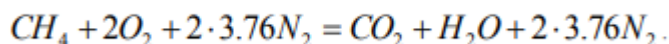
Задание 3. Определите объем и состав продуктов горения 1 кг минерального масла состава: C – 85%, H – 15%, если температура горения $1450 K$, коэффициент избытка воздуха – 1,9.

Задание 4. Вычислите низшую теплоту сгорания сульфадимезина $C_{12}H_{14}O_2N_4S$ по формуле Д.И. Менделеева.

Примеры выполнения заданий.

Пример 1. Определите теоретическую массу и объём воздуха, необходимого для сгорания 1 м³ метана при нормальных условиях.

Решение. Горючее вещество является индивидуальным химическим соединением. Запишем уравнение химической реакции горения CH₄ в воздухе



Из уравнения находим

$$n_{O_2} = 2; n_{N_2} = 2 \cdot 3.76 = 7.52; n_{CH_4} = 1,$$

тогда

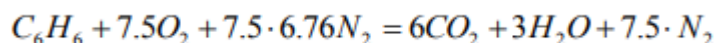
$$V_B^0 = \frac{2 + 7.52}{1} = 9.52 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ или кмоль/кмоль}$$

С учётом уравнения рассчитаем массу воздуха

$$M_B = 9.52 \frac{0.76 \cdot 28 + 0.21 \cdot 32}{22.4} = 9.52 \cdot 1.28 = 12.2 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 2. Определите теоретический объём воздуха, необходимого для горения 1 кг бензола.

Решение. Горючее – индивидуальное химическое соединение. Запишем уравнение химической реакции горения



найдем

$$n_{C_6H_6} = 1; n_{O_2} = 7.5; n_{N_2} = 7.5 \cdot 3.76 = 28.2$$

Молекулярная масса бензола $M = 6 \cdot 12 + 6 \cdot 1 = 78$.

Объём 1 кмоль газа при нормальных условиях составляет 22,4 м³

$$V_B^0 = \frac{(7.5 + 28.2)}{1 \cdot 78} = 10.3 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Пример 3. Определите объём и массу воздуха, необходимого для горения 1 кг органической массы состава С – 60%, Н – 5%, О – 25%, N – 5%, W – 5% (влажность), если коэффициент избытка воздуха $\alpha = 2,5$; температура воздуха 305 К, давление 99500 Па.

Решение. Так как горючее вещество сложного состава, то теоретическое количество воздуха при нормальных условиях определим по формуле:

$$V_B = 0.269 \left(\frac{60}{3} + 5 - \frac{25}{8} \right) = 5.9 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Рассчитаем практическое количество воздуха при нормальных условиях

$$V_B = \alpha V_B^0 = 2.5 \cdot 5.9 = 14.75 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

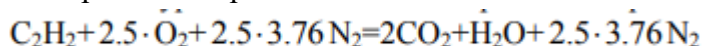
Находи количество воздуха, пошедшего на горение веществ при заданных условиях горения.

$$M_B(P, T) = \frac{14.75 \cdot 101325 \cdot 305}{99500 \cdot 273} = 16.8 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$M_B(P, T) = V_B \rho_B = 16.8 \cdot 1.28 \frac{99500 \cdot 273}{305 \cdot 101325} = 18.9 \text{ кг/кг}.$$

Пример 4. Какое количество продуктов горения выделится при сгорании 1м3 ацетиленa в воздухе, если температура горения составила 1450 К.

Решение. Горючее – индивидуальное химическое соединение. Запишем уравнение химической реакции горения



Объём продуктов горения при нормальных условиях

$$V_{\text{пр}}^0 = \frac{2+1+2.5 \cdot 3.76}{1} = 12.4 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Объём продуктов горения при 1450 К

$$V_{\text{пр}(pT)}^0 = \frac{12.4 \cdot 1450}{273} = 62.9 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Практическая работа №4

Изучение общих характеристик пламени и закономерностей его распространения

1. В ходе выполнения практической работы необходимо изучить следующие вопросы:

1. Форма фронта пламени и понятие о нормальном горении.
2. Расширение продуктов горения.
3. Характерные режимы нормального горения.
4. Методы изучения горения газов.
5. Теория нормального горения.
6. Механизм перехода горения в детонацию.
7. Теория горения дисперсных и горючих материалов.
8. Смешанная диффузионная и химическая кинетика горения.
9. Выявление лимитирующей стадии

Практическая работа №5

Определение тепловых эффектов горения

Задание 1. Вычислите, сколько теплоты выделится при сгорании 4,48 л этилена в стандартных условиях.

Задание 2. Определите стандартную энтальпию образования сероуглерода CS₂, если известно, что $\text{CS}_2(\text{ж}) + 3\text{O}_2(\text{г}) = \text{CO}_2(\text{г}) + 2\text{SO}_2(\text{г}) - 1075 \text{ кДж}$

Задание 3. Вычислите тепловые эффекты реакций сгорания 10 г следующих веществ: С (графит), H₂(г), Р(к), Mg(к), H₂S(г), C₂H₅OH(ж), C₆H₁₂O₆(к).

Задание 4. Рассчитайте количество теплоты, которое выделится при сгорании: а) 1 л метана; б) 1 л пропана.

Задание 5. Напишите термохимическое уравнение реакции горения 1 моля этилового спирта, в результате которой образуются пары воды и оксид углерода (IV). Вычислите теплоту образования C₂H₅OH(ж), если известно, что при сгорании 11,5 г его выделилось 308,71 кДж теплоты

Примеры выполнения заданий.

Пример 1. Вычислите энтальпию реакции: $4\text{NH}_3(\text{г}) + 5\text{O}_2(\text{г}) = 4\text{NO}(\text{г}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{г})$

Решение. Используя уравнение $\Delta H \text{ реакции} = \sum \Delta H \text{ продуктов} - \sum \Delta H \text{ реагентов}$ $\Delta H_{\text{р}0} = 6\Delta H^0(\text{H}_2\text{O}) + 4\Delta H^0(\text{NO}) - 4\Delta H^0(\text{NH}_3)$ Пользуясь справочными данными, находим ΔH^0

и подставляем: $\Delta H_p 0 = 6 \cdot (-242) + 4 \cdot 90 - 4 \cdot (-46) = -908 \text{ кДж}$ $\Delta H_p 0 < 0$, реакция экзотермическая.

Пример 2. Определите тепловой эффект реакции, считая, что все вещества находятся в жидком состоянии: $C_2H_5OH + CH_3COOH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$

Решение. Для органических веществ определены ΔH_0 . Энтальпия реакции: $\Delta H_p 0 = \Delta H_0 (C_2H_5OH) + \Delta H_0 (CH_3COOH) - \Delta H_0 (CH_3COOC_2H_5) - \Delta H_0 (H_2O)$ Пользуясь справочными данными, находим ΔH_0 и подставляем: $\Delta H_p 0 = -1367 - 874 + 2254 = 13 \text{ кДж}$ $\Delta H_p 0 > 0$, реакция эндотермическая.

Пример 3. Вычислите энтальпию образования этана C_2H_6 из простых веществ, если известно, что: $C_2H_6(g) + 3,5O_2(g) = 2CO_2(g) + 3H_2O(ж)$, $\Delta H^0_r = -1560 \text{ кДж}$, $\Delta H^0_f(CO_2) = -393,5 \text{ кДж/моль}$; $\Delta H^0_f(H_2O_{ж}) = -285,84 \text{ кДж/моль}$.

Решение. Согласно следствию из закона Гесса: $\Delta H^0_r = 3\Delta H^0_f(H_2O_{ж}) + 2\Delta H^0_f(CO_2 \text{ г}) - \Delta H^0_f(C_2H_6 \text{ г})$, $\Delta H^0_f(C_2H_6 \text{ г}) = 3\Delta H^0_f(H_2O \text{ ж}) + 2\Delta H^0_f(CO_2 \text{ г}) - \Delta H^0_r$, $\Delta H^0_f(C_2H_6 \text{ г}) = 3 \cdot (-285,84) + 2 \cdot (-393,5) + 1560 = -84,5 \text{ кДж/моль}$.

Раздел 2. Классификация взрывных явлений и взрывчатых веществ

Практическая работа №6

Определение температуры воспламенения

Задание 1. Определите температуру самовоспламенения вещества 1-метил-4-этилбензола.

Задание 2. Рассчитайте температуру взрыва и развиваемого давления при взрыве паров уксусной кислоты CH_3COOH в смеси с воздухом при стехиометрической концентрации при начальной температуре 25 0С и давления 101,325 КПа.

Задание 3. Рассчитайте температуру самовоспламенения изопропилового спирта

Примеры выполнения заданий.

Пример 1. По формуле В.И. Блинова определите температуру воспламенения бутилового спирта.

Решение.

1. Определим значение стехиометрического коэффициента $C_4H_9OH + 6O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$. Следовательно, $n=6$.

2. Определим значение коэффициента диффузии.

Для этого по табл.1 устанавливаем, что $\Delta M = 25 + 3,4 = 37$, тогда

$$D_0 = \frac{10^{-4}}{\sqrt{37 \cdot 4 + 1 \cdot 10 + 17 \cdot 1}} = 75,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$$

3. Значение $A=53,3$ и определим произведение

$$T_{вп} P_{нп} = \frac{53,3}{75,8 \cdot 10^{-7} \cdot 6} = 1172 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{Па}$$

4. По табл. 1 задаемся температурой 326,4 К, давление насыщенного пара при которой равно 5333 Па.

Произведение $T P = 326,4 \cdot 5333 = 1740 \cdot 10^3 \text{ К} \cdot \text{Па}$. Сравнивая полученные значения с вычислением в п.3, устанавливаем, что

$$T_{вп} P_{нп} < T P.$$

5. Задаемся по табл.1 меньшей температурой 314,5 К. Давление насыщенного пара при этом равно 2666 Па.

$$T P = 314,5 \cdot 2666 = 5840 \cdot 10^3 \text{ К} \cdot \text{Па}.$$

Так как $TP > T_{ВП} \cdot P_{НП}$, линейной интерполяцией находим значение температуры воспламенения

$$T_{ВП} = 314,5 + \frac{10^3(1172 - 840)(326,4 - 314,5)}{10^3(1740 - 840)} = 319 \text{ К.}$$

Справочное значение температуры воспламенения составляет 314 К. Погрешность расчета

$$\Delta = \frac{319 - 314}{314} = 1,6\%.$$

Таблица 1 – Давление насыщенных паров некоторых индивидуальных веществ, Па

Вещество	133,3 22	1333, 22	2666, 44	5332, 88	7999, 32	1333 2,2	2666 4,4	5332 8,8	1013 25
Температура, К									
Акриловая кислота	276,5	312,0	325,0	339,2	348,0	359,1	376,3	395,0	414,0
Альдегид уксусный	191,5	216,2	225,2	235,2	241,6	250,4	263,0	277,9	293,3
Ангидрид уксусный	274,7	309,0	321,8	335,1	343,8	355,2	373,0	392,8	412,6
Ацетон	213,6	241,9	252,2	163,6	271,0	280,7	295,7	312,5	329,5
Бензол	236,3	261,5	270,4	280,6	288,4	299,1	315,2	333,6	353,1
Бромистый этил	198,7	225,5	235,2	246,3	253,5	263,2	287,5	294,0	311,4
Бутилбензол	295,7	335,0	349,3	365,4	375,6	389,2	409,9	432,2	456,1
Бутилформиат	246,6	271,1	291,0	304,6	312,8	324,0	340,9	359,2	379,0
Метилэтилкетон	224,2	255,3	266,5	279,0	287,0	298,0	314,6	333,0	352,6
Метилциклогексан	237,1	269,8	281,7	295,0	303,5	317,1	332,6	252,6	373,9
3-метил-2-бутанол	253,1	283,3	291,3	302,6	309,2	318,5	332,0	346,8	361,9
2-метилбутан	190,1	216,0	225,7	236,5	243,4	-	267,1	283,5	300,8
Окись этилена	198,0	224,0	233,7	244,5	251,7	261,0	275,1	290,8	307,5
Октан	259,0	281,3	304,5	318,1	326,8	338,7	356,0	377,0	398,6
Пропилбензол	279,3	316,4	329,8	344,6	354,1	-	386,5	408,7	432,2

Пример 2. По формуле Элея определите, температуру вспышки бензола в закрытом тигле.

Решение. Для расчета необходимо знать температуру кипения бензола (C_6H_6) и значение коэффициента k . Температура кипения бензола 353 К или 80 оС. Величину k определим по формуле

$$K_{Pi} = \frac{S_{Pi}}{S_{Pi}}$$

$$k = 4 \cdot 6 + 6 = 30.$$

Определим искомую величину температуры вспышки

$$T_{BC} = 80 - 18 \sqrt{30} = 18,6 \text{ } ^\circ\text{C или } 254,4 \text{ К.}$$

Согласно справочным данным, температура вспышки бензола равна 259 К
Определим ошибку расчета

$$\Delta = \frac{254,4 - 259}{259} 100 = -1,8\%$$

Результат расчета занижен менее чем на 2%.

Пример 3. Рассчитайте температуру самовоспламенения 2,2-диметилгексана.

Решение. Запишем структурную формулу горючего вещества и определим количество цепей $MP = 4$, так как в молекуле содержится четыре группы $-CH_3$

$$m_{ц} = \frac{4(4-1)}{2} = 6$$

2. Находим длину каждой цепи и среднюю длину

m_i	1-6	7-6	8-6	1-7	1-8	7-8
C_i	6	6	6	3	3	3

$$l_{cp} = \frac{3 \cdot 6 + 3 \cdot 3}{6} = 4,5$$

по табл. 2 определяем, что температура самовоспламенения равна 643 К.

Таблица 2 – Температура самовоспламенения некоторых предельных углеводородов в зависимости от средней длины углеродной цепи

l_{cp}	$T_{св}, K$	l_{cp}	$T_{св}, K$	l_{cp}	$T_{св}, K$	l_{cp}	$T_{св}, K$
3,0	743	6,0	507	9,0	482	12,0	477
3,1	738	6,1	505	9,1	481	12,1	477
3,2	733	6,2	504	9,2	481	12,2	477
3,3	728	6,3	503	9,3	481	12,3	477
3,4	723	6,4	502	9,4	480	12,4	477
3,5	717	6,5	501	9,5	480	12,5	477
3,6	712	6,6	500	9,6	480	12,6	477
3,7	706	6,7	499	9,7	480	12,7	477
3,8	699	6,8	498	9,8	479	12,8	477
3,9	693	6,9	497	9,9	479	12,9	477
4,0	686	7,0	496	10,0	479	13,0	477
4,1	680	7,1	495	10,1	479	13,1	477
4,2	673	7,2	494	10,2	479	13,2	477
4,3	665	7,3	494	10,3	479	13,3	477
4,4	654	7,4	493	10,4	478	13,4	477
4,5	643	7,5	492	10,5	478	13,5	476
4,6	631	7,6	491	10,6	478	13,6	476
4,7	617	7,7	490	10,7	478	13,7	476
4,8	601	7,8	489	10,8	478	13,8	476
4,9	581	7,9	489	10,9	478	13,9	476
5,0	560	8,0	488	11,0	478	14,0	476
5,1	547	8,1	487	11,1	478	14,1	476
5,2	535	8,2	486	11,2	478	14,2	476
5,3	528	8,3	486	11,3	478	14,3	476
5,4	522	8,4	485	11,4	478	14,4	476
5,5	517	8,5	484	11,5	478	14,5	476
5,6	513	8,6	484	11,6	477	14,6	476
5,7	511	8,7	483	11,7	477	14,7	476
5,8	509	8,8	483	11,8	477	14,8	476
5,9	508	8,9	482	11,9	477	14,9	476
-	-	-	-	-	-	15,0	475

$$t_c = 300 + 116 \sqrt{5 - 4,5} = 328 \text{ }^\circ\text{C или } 655 \text{ K}$$

Практическая работа №7

Анализ подходов и методов контроля производственной среды в области пожаро-взрывоопасности

1. В ходе выполнения практической работы необходимо изучить следующие вопросы:

1. Стационарная теория теплового взрыва. Критические условия.
2. Актуальные направления развития теории горения и взрыва.
3. Предотвращение и нейтрализация взрывных процессов
4. Особенности газового и пылевого режима в производственных объектах.
5. Контроль содержания горючих газов и пыли в воздухе
6. Средства локализации и нейтрализации взрывов на предприятиях
7. Свойства ингибиторов, особенности их применения для предотвращения и нейтрализации взрывов.

2. Основные положения записать в тетрадь