

Лабораторная работа № 9

Расчет температуры и давления взрыва парогазовоздушных систем

1. Целью практического занятия является научиться проводить расчеты по определению температуры и давления взрыва парогазовоздушных систем.

2. В результате освоения темы практического занятия студенты приобретают следующие умения и навыки, формируемые компетенции: способность работать самостоятельно (ОК-8); способностью принимать участие в научно-исследовательских разработках по профилю подготовки: систематизировать информацию по теме исследований, принимать участие в экспериментах, обрабатывать полученные данные (ПК-20); способностью применять на практике навыки проведения и описания исследований, в том числе экспериментальных (ПК-23).

3. Актуальность темы: овладение методами расчета параметров пожарной опасности веществ необходимо для практической деятельности студентов.

4. Теоретическая часть

Температура взрыва – температура (зоны пламени), до которой нагреваются продукты реакции горения. Это максимальная температура зоны химической реакции (зоны пламени).

Температура взрыва определяется из уравнения теплового баланса

$$Q_H = \sum C_{pi} V_{ni} (T_{\epsilon} - T_0) \quad (12.1)$$

При этом адиабатическая температура взрыва

$$T_{\epsilon}^* = T_0 + \frac{Q_H}{\sum C_{pi} V_{ni}} \quad (12.2)$$

а действительная температура взрыва

$$T_{\epsilon} = T_0 + \frac{Q_{II}}{\sum C_{pi} V_{ni}} \quad (12.3)$$

где T_{ϵ}^* и T_{ϵ} – соответственно адиабатическая и действительная температуры взрыва;

T_0 – начальная температура;

V_{ni} – объем i -го продукта горения;

Q_H – низшая теплота горения вещества;

Q_{II} – теплота, пошедшая на нагрев продуктов горения.

Таблица 12.1 – Расчет параметров

№	Определяемые параметры	Примечание
1	Объём и состав продуктов горения	кмоль, м
2	Низшая теплота сгорания или количество тепла, пошедшего на нагрев продуктов горения (при наличии теплопотерь)	Q_{n2} или Q_H кДж/кмоль, кДж/кг
3	Среднее значение энтальпии продуктов горения	$H_{cp} = \frac{Q_{H(II)}}{\sum V_{ni}}$ (12.4)

4	Температура горения T_I (табл. 1,2 прил.) по средней энтальпии с помощью табл. 1 (если H_{cp} выражена в кДж/м^3), ориентируясь на азот (наибольшее содержание в продуктах горения)	
5	Теплосодержание продуктов горения с температурой T_I (табл. 1,2 прил.)	$Q_{ng} = \sum H_i V_{ngi}$ (12.5)
6	Если $Q_{пг} < Q_{н(пг)}$, то $T_2 > T_1$ (в том случае, если $Q_{пг} > Q_{н(пг)}$, то $T_2 < T_1$)	H_i – энтальпия i -продукта горения; V_i – объём i -продукта горения
7	Q_{ng} по формуле (4.1.6)	
8	Расчет проводим до получения неравенства $Q_{ng} < Q_{н(пг)} < Q_{пг}$	
9	Температура горения	$T_I = T_1 + \frac{(Q_{н(пг)} - Q_{пг})(T_2 - T_1)}{c_{пг} - Q_{пг}}$ (12.6)

При этом

$$Q_{пг} = Q_H(1 - \eta) \quad (12.7)$$

где η – доля теплотерь в результате излучения энергии, химического и механического недожога.

Расчет температуры взрыва по формуле (9.2) или (9.3) может быть проведен только методом последовательных приближений, поскольку теплоемкость газов зависит от температуры горения (табл. 9.1)

Действительная температура взрыва на пожаре для большинства газообразных, жидких и твердых веществ изменяется в достаточно узких пределах (1300 – 1800 К). В связи с этим расчетная оценка действительной температуры взрыва может быть значительно упрощена, если теплоемкость продуктов горения выбирать при температуре 1300 К:

$$T_{пг} = T_0 + \frac{Q_H}{\sum C_{pi}^* V_{пги}} \quad (12.8)$$

где C_{pi}^* – теплоемкость i -го продукта горения при 1500 К (таблица 12.2)

Таблица 12.2 – Теплоемкость i -го продукта горения

Вещество	Теплоёмкость	
	кДж/(м ³ ·К)	Дж/(моль·К)
CO ₂	2,27	50,85 · 10 ⁻³
SO ₂	2,28	51,07 · 10 ⁻³
H ₂ O (пар)	1,78	39,87 · 10 ⁻³
N ₂	1,42	31,81 · 10 ⁻³
Воздух	1,44	32,26 · 10 ⁻³

Давление при взрыве – важный фактор для расчета противовзрывной защиты аппаратов и расчета ослабленных и легкосбрасываемых конструкций зданий и сооружений.

Давление при взрыве можно определить по формуле:

$$P_{взр} = P_0 \cdot T_{взр} \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{T_0 \sum_{i=1}^m m_i} \quad (12.9)$$

где P_0 – начальное давление смеси;
 T_0 – начальная температура смеси;
 $T_{взр}$ – температура взрыва;
 Σn_i – сумма молей продуктов горения;

$$\sum_{i=1}^n m_i \text{ – сумма молей исходной смеси.}$$

Пример

Пр и м е р 1. Рассчитать температуру взрыва и развиваемого давления при взрыве паров уксусной кислоты CH_3COOH в смеси с воздухом при стехиометрической концентрации при начальной температуре $25^\circ C$ и давления $101,325$ КПа.

Решение

По справочным данным (справочник Корольченко) определяем стандартную теплоту сгорания одного моля уксусной кислоты

$$H = -786500 \text{ Дж}$$

Составляем термохимическое уравнение реакции горения



Определяем разность молей продуктов горения и исходной смеси

$$n_{n_2} = 2 + 2 + 2 \cdot 3,76 = 11,52 \text{ моль}$$

$$n_{исх} = 1 + 2 + 2 \cdot 3,76 = 10,52 \text{ моль}$$

$$n = n_{n_2} - n_{исх} = 11,52 - 10,52 = 1 \text{ моль}$$

Определяем энергию взрыва

$$Q_{взр} = H \cdot R \cdot T \cdot n$$

$$Q_{взр} = -786500 - 8,314 \cdot (273 + 25) \cdot 1 = -788977,6 \text{ Дж}$$

Определяем внутреннюю энергию продуктов взрыва, приняв начальную температуру взрыва равной 2200 К

$$U_1 = 2 \cdot 95,062 + 2 \cdot 74,083 + 2 \cdot 3,76 \cdot 53,845 = 743,204 \text{ КДж} = 743204 \text{ Дж}$$

Внутренняя энергия продуктов взрыва оказалась меньше энергии взрыва, значит принимаем за температуру взрыва следующую большую и повторяем расчет

$$U_2 = 2 \cdot 105,727 + 2 \cdot 82,760 + 2 \cdot 3,76 \cdot 59,477 = 824,241 \text{ КДж} = 824241 \text{ Дж}$$

Внутренняя энергия продуктов взрыва оказалась выше энергии взрыва, значит температуру взрыва следует определять методом интерполяции.

Находит температуру взрыва методом линейной интерполяции

$$T_{взр} = 2200 + \frac{(2400 - 2200) \cdot (788977,6 - 743204)}{(824241 - 743204)} = 2312,97 \text{ К}$$

Определяем давление взрыва паров уксусной кислоты в смеси с воздухом при стехиометрической концентрации и при заданных условиях

$$P_{взр} = P_0 \cdot T_{взр} \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{T_0 \sum_{i=1}^m m_i}; [\text{КПа}]$$

$$P_{взр} = \frac{101,325 \cdot 2312,97 \cdot (2 + 2 + 2 \cdot 3,76)}{(273 + 25) \cdot (1 + 2 + 2 \cdot 3,76)} = 935,96 \text{ КПа} = 9,2 \text{ атм} = 7020,3 \text{ мм.рт.ст}$$

5. Вопросы и задания

Рассчитать температуру и давление при взрыве паров горючей жидкости при начальной температуре ... $^\circ C$ и давлении ... мм рт. ст. Концентрация стехиометрическая.

Вариант	Вещество	$T_0, ^\circ\text{C}$	$P_0, \text{мм рт.ст.}$
1	Амилбензол	10	780
2	Н-Амиловый спирт	11	760
3	Анизол	12	778
4	Анилин	15	762
5	Бутилацетат	17	776
6	Бутиловый спирт	18	764
7	Бензол	-5	774
8	Диэтиловый эфир	20	768
9	Ксилол	22	772
10	Уайт-спирит	-6	770
11	Этиленгликоль	25	740
12	Трет-Амиловый спирт	27	758
13	Гексан	5	742
14	Метиловый спирт	8	756
15	Толуол	-10	744
16	Стирол	12	754
17	Пентан	18	746
18	Этанол	4	752
19	Амилметилкетон	-6	748
20	Бутилбензол	6	750
21	Бутилвиниловый эфир	-4	769
22	Ацетон	4	779
23	Этиловый спирт	-2	749
24	Гептан	2	761
25	Октан	28	765
26	Гексан	19	759
27	Бутиловый спирт	-6	757
28	Анилин	21	769
29	Бензол	-11	770
30	Ксилол	13	754

6. Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Основная литература

1. Девисилов, В. А. Теория горения и взрыва : практикум : учеб.пособие для вузов / В.А. Девисилов, Т.И. Дроздова, С.С. Тимофеева. – Москва : ФОРУМ, 2012. – 351 с.
2. Кукин, П. П. Теория горения и взрыва : учебное пособие / П. П. Кукин, В. В. Юшин, С. Г. Емельянов ; «Юго-Западный гос. ун-т», Рос.гос. технолог. ун-т им. К. Э. Циолковского (МАТИ-РГТУ). – Москва :Юрайт, 2012. – 435 с.

Дополнительная литература

1. Корольченко, А. Я. Процессы горения и взрыва / А. Я. Корольченко. - М. :Пожнаука, 2010. - 266 с. : ил. - Библиогр.: с. 265.
2. Сборник задач по теории горения : учебное пособие / под ред. В. В. Померанцева. - Л. : Энергоатомиздат, 1983. - 152 с.
3. Хзмалян, Д. М. Теория горения и топочные устройства : учеб.пособие для вузов / Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган ; под ред. Д. М. Хзмаляна. - М. : Энергия, 1976. - 487 с.

4. Орленко, Л. П. Физика взрыва и удара : учеб. пособие / Л. П. Орленко. - 2-е изд., испр. -М. : Физматиздат, 2008. - 304 с.
5. Самовозгорание и взрывы пыли натуральных топлив / [В. В. Померанцев, С. Л. Шагалова, В. А. Резник и др.]. - Ленинград : Энергия, Ленинградское отделение, 1978. - 144 с.
6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения : справочник / под ред. А. Н. Баратова, И. Я. Корольченко, Ч. 1. - М. : Химия, 1990. - 496 с.
7. Тербнев, В. В. Противопожарная защита и тушение пожаров / В. В. Тербнев, Н. С. Артемьев, А. В. Подгрушный, Кн. 4, Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов. - Москва :Пожнаука, 2007. - 325 с.