



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

**Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и
защита окружающей среды»**

Методические указания
к курсовой работе по дисциплине

«Теория горения и взрыва»

Ростов-на-Дону 2022

Составитель: доцент, к.х.н. Дымникова О.В.

УДК 504.064+539.12+539.16+614.876

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Теория горения и взрыва» предназначены для студентов специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» И бакалавров направления 20.03.01 «Техносферная безопасность» всех профилей и форм обучения/ ДГТУ. Ростов-на-Дону. 2021. 24 с.

.

Печатается по решению методической комиссии факультета «БЖ и ИЭ».

Научный редактор – д.г.н., профессор Е.С. Андреева
Рецензент – проф., д.т.н. Булыгин Ю.И.

© Издательский центр ДГТУ, 2021-11-06

Целью курсовой работы по дисциплине «Теория горения и взрыва» является получение навыков и умения реализовать на практике методы расчета показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, а также методы расчетной оценки конкретных условий производства.

Курсовая работа состоит из теоретического раздела и решения расчетной задачи по вариантам. Выполнение работы по дисциплине предполагает подбор и самостоятельное освоение теоретического материала на предлагаемую тему, а также математический расчет необходимых параметров процессов горения, взрыва или детонации, основываясь на теоретические и практические знания, полученные при изучении курса «Теория горения и взрыва».

Курсовая работа должна быть оформлена в определенной последовательности:

Титульный лист.

Содержание (оглавление).

1. Ответы на вопросы.

При необходимости с математическим выводом, описанием и графическим изображением установки и основного оборудования.

2. Список использованной литературы.

3. Расчетная часть.

4. Выводы по решенной задаче.

Ответ на теоретическое задание курсовой работы должен быть изложен своими словами, чётко, с обоснованием. При ответе следует увязывать теоретические вопросы с практической реализацией, достижениями науки и техники, нормативно – техническими данными. Ответы целесообразно иллюстрировать рисунками, таблицами, графиками, фотографиями, диаграммами, расположенными в порядке изложения материала, пронумерованными и сопровождаемыми соответствующими подписями. Ответ следует начинать с **введения**, в котором сформулирована актуальность, значимость и содержание теоретического задания, влияние на оценку пожарной опасности веществ и процессов, связанных с их использованием или проявлением на практике.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

При ответе на теоретические вопросы курсовой работы выбор номеров вопросов осуществляется по последней и предпоследней цифрам учебного шифра студента (**Таблица 1**). Выбор номера решаемой задачи осуществляется по порядковому номеру студента в списочном составе группы на период установочной сессии или по индивидуальному заданию преподавателя, выданному на установочных занятиях.

Таблица 1

Номер а вопрос ов		Последняя цифра номера зачетной книжки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	1	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 20	10, 20, 30
	2	9, 20, 30	8, 19, 29	7, 18, 28	6, 17, 27	5, 16, 26	4, 15, 25	3, 14, 24	2, 13, 23	1, 12, 22	10, 21, 5
	3	2, 21, 14	3, 22, 13	4, 23, 14	5, 24, 15	6, 25, 16	7, 26, 17	8, 27, 18	9, 28, 19	10, 29, 7	11, 22, 1
	4	3, 15, 20	4, 11, 8	23, 1, 29	9, 13, 28	21, 2, 17	20, 1, 6	27, 5, 12	28, 6, 3	29, 13, 2	30, 19, 26
	5	12, 8, 21	13, 9, 30	14, 7, 29	15, 6, 28	16, 1, 27	17, 2, 26	18, 3, 25	19, 2, 24	20, 11, 19	21, 8, 13
	6	4, 14, 28	3, 12, 24	5, 25, 3	8, 16, 30	9, 18, 24	10, 2, 20	1, 21, 4	2, 23, 15	16, 22, 9	15, 30, 22
	7	7, 27, 10	6, 26, 13	5, 15, 8	4, 24, 6	3, 23, 9	2, 22, 1	1, 21, 4	30, 8, 28	23, 17, 25	26, 10, 4
	8	1, 12, 25	2, 17, 23	3, 23, 9	4, 15, 7	5, 18, 20	6, 29, 8	7, 14, 11	8, 19, 24	10, 24, 6	11, 25, 19
	9	9, 17, 20	8, 13, 21	7, 24, 13	5, 12, 28	6, 23, 12	8, 29, 11	4, 30, 21	3, 25, 17	21, 15, 19	22, 7, 16
	0	1, 15, 27	2, 16, 24	3, 17, 10	4, 18, 27	5, 19, 30	6, 20, 11	7, 21, 16	8, 22, 17	19, 23, 18	18, 24, 10

ВОПРОСЫ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. История возникновения и достижения науки в области изучения огня. Классификации пожаров и взрывов. Зоны и стадии пожара.
2. Химическая кинетика и термохимия. Особенности протекания и характеристические параметры процесса горения.
3. Температура горения и ее зависимость от различных параметров.
4. Термодинамические свойства системы. Термодинамические расчеты для изохорного и изобарного процессов. Расчет теплового эффекта процесса сгорания с учетом энтальпийного фактора.
5. Второе начало термодинамики. Понятие энтропии для процесса горения. Изоэнтропы Пуассона.
6. Механизм химических реакций горения. Понятие молекулярности.
7. Роль поверхностных реакций в процессах горения. Рассмотреть механизм реакции окисления водорода на поверхности платины.
8. Цепные неразветвленные реакции. Рассмотреть на примере реакции водорода с хлором.
9. Самоускоряющиеся химические реакции на примере водородно-кислородной смеси.
10. Виды возникновения горения. Зависимость начальной температуры окисления от природы органической молекулы.
11. Виды источников зажигания и их воспламеняющая способность. Температуры воспламенения и самовоспламенения и их значение при оценке пожаро- и взрывоопасности веществ.
12. Механизм теплового взрыва в исследованиях Семенова.
13. Анализ теплового взрыва Франк-Каменецкого.
14. Понятие и виды взрывчатых веществ. Характеристика свойств взрывчатых веществ.
15. Теория детонации идеального взрывчатого газа. Кривые Гюгоню. Детонация и дефлаграция Чемпена-Жуге.
16. Понятие гомогенного и гетерогенного горения.
17. Характеристики кинетического и диффузионного режимов горения.
18. Кинетическое и диффузионное горение газов. Стационарные и нестационарные пламена.
19. Распространение пламени. Тепловая теория распространения пламени. Понятие нормальной скорости распространения пламени.

20. Диффузионное горение газов. Структура и высота диффузионного пламени. Зависимость пламени от различных факторов.
21. Газодинамические режимы горения (ламинарное и турбулентное горение).
22. Распространение пламени в турбулентном потоке. Понятие турбулентности. Поверхностная и объемная модели турбулентного горения.
23. Понятие концентрационных пределов распространения пламени. Зависимость концентрационных пределов распространения пламени от различных факторов. Методы расчета концентрационных пределов распространения пламени.
24. Механизм воспламенения жидкости. Анализ влияния условий горения на скорость распространения пламени
25. Характеристики факторов, влияющих на скорость выгорания жидкостей.
26. Механизм воспламенения твердых тел. Анализ влияний условий горения на скорость распространения пламени.
27. Горение пылевоздушных смесей
28. Влияние состава и строения целлюлозосодержащих материалов на их поведение при горении. Особенности горения металлов. Особенности горения полимеров
29. Условия потухания пламени.
30. Флегматизация. Ингибирование и флегматизация как методы прекращения горения. Механизм влияния на процесс горения.

Список использованной литературы. В список литературы включают все использованные источники. Располагают их в порядке упоминания в тексте. Описание книги обязательно должно содержать: фамилии и инициалы авторов, название книги, издательство и год издания, количество страниц.

Описывая статью из сериального издания (журнала, газеты), приводят фамилии и инициалы авторов статьи, ее название, наименование издания, год, том, номер издания и страницы используемого материала.

Описывая использованный стандарт, дают наименование документа, цифровое его обозначение, название, дату введения и срок действия (если он имеется).

Оформление пояснительной записки должно отвечать

требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Пояснительная записка выполняется машинописным способом на бумаге формата А4.

Каждый лист пояснительной записки должен иметь рамку. Страницы записки нумеруются, а в содержании указываются номера страниц, соответствующие началу каждого раздела.

В текстовом документе нужно давать ссылки на источники. Ссылка содержит номер источника, взятый из списка.

Формулы в записке нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой.

Расчетная часть. Перед решением задачи необходимо изучить соответствующий теоретический материал, уяснить физический смысл используемых и подлежащих расчёту параметров. Ход решения задачи аналогичен приведённому примеру для всех вариантов. Не следует пропускать отдельные пункты, т.к., как правило, полученные данные используются при дальнейшем решении. Необходимо показать весь ход решения и математические преобразования. Точность вычислений – не менее 3-х значащих цифр. Промежуточные и конечные величины, полученные при решении, должны сопровождаться единицами измерения. Анализируйте их на реальность, чтобы исключить заведомо неверные результаты. В конце решения задачи выпишите значения величин, полученных при расчёте.

Вариант расчетной задачи курсовой работы соответствует порядковому номеру в списочном составе группы. Выдается по заданию преподавателя

Выводы. В конце курсовой работы должен быть дан анализ полученных результатов расчета предложенного практического задания.

Пример расчета

Дано:

Г.В. – метилацетат $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ (жидкость);

Температура $t = -10^\circ\text{C}$ (263 К);

Давление $P = 100$ кПа;

К-т избытка воздуха $\alpha = 1,5$;

$G = 1,6$ г/м²с;

Объем помещения $V_{\text{пом}} = S \times B \times H$ м³;

Поверхность испарения $S_{\text{ис}} = 3$ м².

Определить:

$V_{\text{в}}$; $V_{\text{пг}}$; % состав П.Г.; $Q_{\text{н}}$; $t_{\text{г}}$; d ; $C_{\text{нас}}$; $C_{\text{ст}}$; $P_{\text{вз}}$; НКПР; ВКПР; НТПР;
ВТПР; $t_{\text{вс}}$; $\tau_{\text{ис}}$.

Решение

1. Рассчитаем объём воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг горючего вещества.

а) Составим уравнение реакции горения метилацетата на воздухе (сохраняем перед формулой Г.В. коэффициент $n_{\text{ГВ}} = 1$).



б) Опр. массу 1 Кмоля Г.В.: $M = 12 \times 3 + 1 \times 6 + 16 \times 2 = 74$ кг

в) Опр. объём 1 Кмоля любого газа или пара при заданных условиях:

$$V_{\mu} = \frac{V_0 \times P_0 \times T_1}{T_0 \times P_1} = \frac{22,4 \times 101325 \times 263}{273 \times 100000} = 21,86 \text{ м}^3$$

Объём любого газа из уравнения реакции горения можно определить по

формуле:
$$V_i = \frac{n_i \times V_{\mu}}{M},$$

где n_i – количество Кмолей соответствующего газа или пара:

$n_{\text{ГВ}} = 1$; $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{H}_2\text{O}} = 3$; $n_{\text{O}_2} = 3,5$; $n_{\text{N}_2} = 3,5 \times 3,76$.

г) Опр. реальный расход воздуха с учётом заданных условий и избытка воздуха:

$$V_{\text{в}} = \frac{(3,5 + 3,5 \times 3,76) \times 21,86}{74} \times 1,5 = 7,38 \text{ м}^3$$

2. Определим объём и процентный состав продуктов горения 1 кг метилацетата.

а) Опр. объём П.Г.: $V_{O_2^n} = \frac{3,5 \times 21,86 \times 0,5}{74} = 0,52 \text{ м}^3$

$$V_{CO_2} = V_{H_2O} = \frac{3 \times 21,86}{74} = 0,886 \text{ м}^3 \quad V_{N_2} = \frac{3,5 \times 3,76 \times 1,5 \times 21,86}{74} = 5,83 \text{ м}^3$$

$$V_{ПГ} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2^n} = 0,886 + 0,886 + 5,83 + 0,52 = 8,12 \text{ м}^3$$

б) Опр. % состав П.Г., приняв $V_{ПГ}$ за 100%. $\varphi_i = \frac{V_i \times 100\%}{V_{ПГ}}$

$$\varphi_{CO_2} = \varphi_{H_2O} = \frac{0,886 \times 100}{8,12} = 10,91\% \quad \varphi_{O_2} = \frac{0,52 \times 100}{8,12} = 6,4\%$$

$$\varphi_{N_2} = \frac{5,83 \times 100}{8,12} = 71,79\%$$

3. С помощью формулы Менделеева определим теплоту сгорания для 1 кг ГВ.

а) Приняв массу 1 Кмоля за 100%, опр. массовое процентное содержание элементов в ГВ:

$$\varphi_i = \frac{M_i \times 100\%}{M}$$

$$\varphi_C = 36 \times 100 / 74 = 48,6\%; \quad \varphi_H = 6 \times 100 / 74 = 8,1\%; \quad \varphi_O = 32 \times 100 / 74 = 43,24\%$$

б) По формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_H = 339,4 \varphi_C + 1257 \varphi_H - 108,9 \times (\varphi_O - \varphi_S) - 25,1 \times (9 \times \varphi_H + \varphi_W) =$$

$$= 339,4 \times 48,6 + 1257 \times 8,1 - 108,9 \times (43,24) - 25,1 \times (9 \times 8,1) = 20138 \text{ кДж / кг}$$

4. Определим плотность паров метилацетата по отношению к плотности воздуха:

$$d = \frac{M_n}{M_{\text{в}}} = \frac{74}{29} = 2,55 \text{ где } M_n - \text{молекулярная масса пара (или газа)}$$

$M_{\text{в}} = 29$ – средняя молекулярная масса воздуха (постоянная)

5. Рассчитаем концентрацию насыщенных паров метилацетата.

а) Находим давление насыщенных паров при 263 К. Оно равно примерно 4675 Па.

б) концентрация паров в % по объёму составит:

$$\varphi_{\text{нас}} = \frac{P_{\text{нас}} \times 100}{P} = \frac{4675 \times 100}{100000} = 4,68\%$$

в) выразим эту концентрацию в г/м³:

$$C_{\text{нас}} = \frac{\varphi_{\text{нас}} \times 10 \times M}{V_{\mu}} = \frac{4,68 \times 10 \times 74}{21,86} = 158,5 \text{ г/м}^3$$

6. Рассчитаем стехиометрическую концентрацию паров метилацетата в смеси с воздухом, приняв объём всей смеси за 100%.

а) в процентах по объёму:

$$\varphi_{\text{СТ}} = \frac{100\% \times n_{\text{ГВ}}}{n_{\text{см}}} = \frac{100 \times n_{\text{ГВ}}}{n_{\text{св}} + n_{\text{O}_2} + n_{\text{N}_2}} = \frac{100 \times 1}{1 + 3,5 + 3,5 \times 3,76} = 5,66\%$$

$$\text{б) в г/м}^3: C_{\text{СТ}} = \frac{\varphi_{\text{СТ}} \times 10 \times M}{V_{\mu}} = \frac{5,66 \times 10 \times 74}{21,86} = 191,6 \text{ г/м}^3$$

7. Рассчитаем концентрационные пределы распространения пламени паров метилацетата

$$\text{а) в \% по объёму: } \varphi_{\text{н,в}} = \frac{100}{a \times n_{\text{O}_2} + b},$$

где a и b – табличные данные

n_{O_2} – к-во кмолей кислорода для окисления 1 кмоль Г.В. (из уравнения реакции горения).

$$\varphi_H (\text{НКПР}) = \frac{100}{8,684 \times 3,5 + 4,679} = 2,85 \%$$

$$\varphi_B (\text{ВКПР}) = \frac{100}{1,550 \times 3,5 + 0,560} = 16,7 \%$$

$$\text{б) в г/м}^3: C_{H,B} = \frac{\varphi_{H,B} \times 10 \times M}{V_{\mu}} \text{ г/м}^3$$

$$C_H = \frac{2,85 \times 10 \times 74}{21,86} = 96,47 \text{ г/м}^3$$

$$C_B = \frac{16,7 \times 10 \times 74}{21,86} = 565,32 \text{ г/м}^3$$

8. Определим время образования минимальной взрывоопасной концентрации паров заданной жидкости.

а) Взрывоопасная концентрация паров образуется при достижении НКПР = 96,47 г/м³

Опр. массу жидкости, которую нужно испарить, чтобы образовалась НКПР:

$$m = V_{\text{пом}} \times C_H; m = 200 \times 96,47 = 19294 \text{ г}$$

б) Опр. время испарения из формулы массовой скорости испарения:

$$G = \frac{m}{\tau \times S}; \text{ откуда } \tau = \frac{m}{S \times G};$$

по условию задачи: $S = 3 \text{ м}^2$; $G = 1,6 \text{ г/м}^2\text{с}$,

$$\text{тогда } \tau = \frac{19294}{3 \times 1,6} = 4019,6 \text{ с} = 67 \text{ мин}$$

9. Определим температуру горения. (1)

Для этого рассчитаем теплосодержание П.Г. при нескольких температурах и выберем два значения при $\Delta t = 100^\circ$, между которыми находится значение Q_H .

а) Опр. среднее теплосодержание 1 м³ П.Г.:

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q_H}{V_{\text{III}}} = \frac{20138}{10,56} = 1907 \text{ кДж / м}^3$$

б) Исходя из состава ПГ (> 70% приходится на долю азота), примем $t_1 = 1600$ °С, т.к. при этой т-ре $q_{\text{ср}}$ ближе всего к табличному значению q_{N_2} , и рассчитаем теплосодержание ПГ, пользуясь табл.4:

$$q_{\text{CO}_2} = 3771,4 \times 0,886 = 3341,46 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{H}_2\text{O}} = 3004,2 \times 0,886 = 2661,72 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{N}_2} = 2335,5 \times 5,83 = 13615,96 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{O}_2} = 2462,4 \times 0,52 = 1280,44 \text{ кДж}$$

$$Q_{1600} = \sum q_{\text{пг}} = 20899,58 \text{ кДж}$$

в) т.к. теплосодержание ПГ не может превышать тепловыделения, примем $t_2 = 1500$ °С и рассчитаем теплосодержание ПГ при этой t_2 ,

$$q_{\text{CO}_2} = 3505,7 \times 0,886 = 3106,05 \text{ кДж}$$

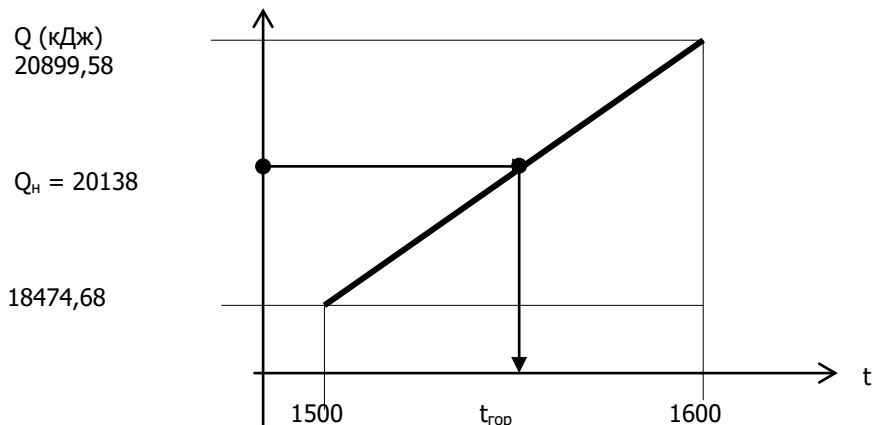
$$q_{\text{H}_2\text{O}} = 2781,3 \times 0,886 = 2464,23 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{N}_2} = 2176,7 \times 5,38 = 11710,64 \text{ кДж}$$

$$q_{\text{O}_2} = 2295,7 \times 0,52 = 1193,76 \text{ кДж}$$

$$Q_{1500} = \sum q_{\text{пг}} = 18474,68 \text{ кДж}$$

г) Истинную температуру горения находим интерполяцией.



Принимая теплосодержание ПГ в выбранном интервале температур от $t_1 = 1600$ °С до $t_2 = 1500$ °С постоянной, т.е. зависимость $Q(t)$ считаем прямолинейной.

Более точно рассчитываем температуру горения по формуле:

$$t_{\text{гор}} = 1500 + \frac{(20138 - 18474,68) \times (1600 - 1500)}{20889,58 - 18474,68} = 1568,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

10. Рассчитаем температурные пределы распространения пламени заданного вещества.

а) определим давление пара на нижнем и верхнем пределах распространения пламени:

$$P_{t_{\text{н,в}}} = \frac{\varphi_{\text{н,в}} \times P}{100} \quad P_{t_{\text{н}}} = \frac{2,85 \times 100000}{100} = 2850 \text{ Па}$$

$$P_{t_{\text{в}}} = \frac{116,7 \times 100000}{100} = 16700 \text{ Па}$$

б) по таблице давлений пара опр. ТПР метилацетата по вычисленным значениям. Для этого выберем две температуры с разностью в 10 °С так, чтобы при одной из них табличное значение давления насыщенных паров было больше расчётного, при другой – меньше. Интерполяцию выполняем аналогично п.4 Г. Искомый ТПР должен получиться в выбранном температурном интервале:

$$P_{t_{\text{н}}} = 2163 \text{ Па} \quad t_{\text{н}} (\text{НТПР}) = \frac{(2850 - 2527) \times (263 - 253)}{4675 - 2527} + 253 = 254,5 \text{ К} = -18,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{t_{\text{в}}} = 12511 \text{ Па} \quad t_{\text{в}} (\text{ВТПР}) = \frac{(16700 - 13938) \times (293 - 283)}{22853 - 13938} + 283 = 286,09 \text{ К} = 13,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

11. Рассчитаем температуру вспышки.

а) по Табл.6 приложения определим температуру кипения метилацетата:
 $t_{\text{кип}} = 57,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

б) определим k - к-т горючести, зависящий от содержащихся в молекуле атомов:

$$k = 4 \times "C" + 4 \times "S" + "H" + "N" - 2 \times "O" - 2 \times "Cl" - 3 \times "F" - 5 \times "Br",$$

где
 "C", "S", "H", "N", "O", "Cl", "F", "Br" - количество атомов соотв.

элемента в молекуле ГВ.

В молекуле метилацетата: 3 атома С, 6 атомов Н, 2 атома О,
тогда $k = 4 \times 3 + 6 - 2 \times 2 = 14$

в) определим температуру вспышки по формуле Элея :

$$t_{\text{вс}} = t_{\text{кип}} - 18 \sqrt{K}, \quad t_{\text{вс}} = 57,0 - 18 \sqrt{14} = -10,34 \text{ } ^\circ\text{C},$$

12. Рассчитаем давление при взрыве паров при стехиометрической концентрации, считая что $t_{\text{вз}} = t_r$

$$P_{\text{вз}} = \frac{P \times T_{\text{вз}} \times \Pi_{\text{ПГ}}}{T \times \Pi_{\text{СМ}}} = \frac{100000 \times 1794,12 \times 19,16}{263 \times 17,66} = 740117,28 \text{ Па},$$

Где:

$$T_{\text{вз}} = t_{\text{вз}} + 273 = 1521,12 + 273 = 1794,12 \text{ К}$$

$$\Pi_{\text{ПГ}} = \Pi_{\text{CO}_2} + \Pi_{\text{H}_2\text{O}} + \Pi_{\text{N}_2} = 3 + 3 + 3,5 \times 3,76 = 19,16 \text{ кмоль}$$

$$\Pi_{\text{СМ}} = \Pi_{\text{ГВ}} + \Pi_{\text{O}_2} + \Pi_{\text{N}_2} = 1 + 3,5 + 3,5 \times 3,76 = 17,66 \text{ кмоль}$$

Выводы:

Определены показатели пожарной опасности метилацетата при заданных параметрах

1. Расход воздуха на горение $V_{\text{в}} = 7,38 \text{ м}^3$
2. Объём и процентный состав продуктов горения $V_{\text{ПГ}} = 8,12 \text{ м}^3$ ($\varphi_{\text{CO}_2} = \varphi_{\text{H}_2\text{O}} = 10,91 \text{ } \%$; $\varphi_{\text{O}_2} = 6,4 \text{ } \%$; $\varphi_{\text{N}_2} = 71,79 \text{ } \%$)
3. Низшая теплота сгорания $Q_{\text{н}} = 20138 \text{ кДж / кг}$
4. Плотность паров по воздуху $d = 2,55$, т.е. пары метилацетата в 2,55 раза тяжелее воздуха.
5. Давление и концентрация насыщенных паров: $P_{\text{нас}} \cong 4675 \text{ Па}$; $\varphi_{\text{нас}} = 4,68 \text{ } \%$;
 $C_{\text{нас}} = 158,5 \text{ г/м}^3$.

6. Стехиометрическая концентрация паров (в % по объёму и в г/м³) :
 $\varphi_{\text{СТ}} = 5,66 \%$ $C_{\text{СТ}} = 191,6 \text{ г/м}^3$
7. Концентрационные пределы распространения пламени
 $\varphi_{\text{Н, (НКПР)}} = 2,85 \%$ $\varphi_{\text{В, (ВКПР)}} = 16,7 \%$ $C_{\text{Н}} = 96,47 \text{ г/м}^3$ $C_{\text{В}} = 565,32 \text{ г/м}^3$
8. Время образования взрывоопасной концентрации паров $\tau = 4019,6 \text{ с} = 67 \text{ мин}$
9. Температурные пределы распространения пламени
 $t_{\text{Н}} (\text{НТПР}) = 254,5 \text{ К} = -18,5 \text{ }^\circ\text{C}$ $t_{\text{В}} (\text{ВТПР}) = 286,09 \text{ К} = 13,09 \text{ }^\circ\text{C}$
Безопасными для режимов хранения, перевозки, перекачки являются температуры до $-18,5 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше $13,09 \text{ }^\circ\text{C}$
10. Температура вспышки $t_{\text{вс}} = -10,34 \text{ }^\circ\text{C}$, т.е. метилацетат является ЛВЖ II-го разряда (постоянно опасным).
11. Температура горения $t_{\text{гор}} = 1521,12 \text{ }^\circ\text{C}$
12. Максимальное давление взрыва $P_{\text{вз}} = 740117,28 \text{ Па}$

Таблица 1

Задание для выполнения практической части по вариантам

№	Вещество	L, м	B, м	H, м	t, °C	∞	G, г/м ² с	P, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Гексиловый спирт $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	120	4,5	3,5	10	1,6	0,12	110000
2	Гексан C_6H_{14}	100	6	3,5	12	1,7	0,15	115000
3	Анилин $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	80	6,5	4	15	1,8	0,17	120000
4	Бутанол $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	60	6	4,5	20	1,3	0,19	105000
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	н-Амиловый спирт $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$	90	6,5	3,8	25	1,3	0,19	94000

6	Дициан C_2N_2	120	4,5	3,5	28	1,6	0,12	115000
7	Ацетон CH_3COCH_3	100	6	3,5	30	1,1	0,13	125000
8	Уксусная кислота CH_3COOH	80	6,5	4	32	1,2	0,24	119000
9	Бензол C_6H_6	60	6	4,5	35	1,3	0,15	98000
10	Аллиловый спирт C_3H_5OH	90	6,5	3,8	40	1,4	0,17	121000
11	н-Бутиловый спирт C_4H_9OH	120	4,5	3,5	20	1,5	0,18	140000
12	Дифторэтан $C_2H_4F_2$	100	6	3,5	25	1,6	0,15	116000
13	Ацетон CH_3COCH_3	80	6,5	4	28	1,8	0,16	122000
14	Бутил- ацетат $CH_3COOC_4H_9$	60	6	4,5	30	1,2	0,16	142000
15	Изобутилен $CH_2C(CH_3)_2$	90	6,5	3,8	32	1,3	0,15	133000
16	Формальде- гид $HCHO$	120	4,5	3,5	35	1,4	0,14	126000
17	Ацетальде- гид CH_3CHO	100	6	3,5	40	1,5	0,19	113000
18	Толуол $C_6H_5CH_3$	80	6,5	4	25	1,6	0,18	109500
19	Пропиловый спирт C_3H_7OH	60	6	4,5	28	1,2	0,17	112000
20	Метилэтило- вый эфир $CH_3OC_2H_5$	90	6,5	3,8	30	1,3	0,18	80000
21	Метиловый спирт CH_3OH	120	4,5	3,5	10	1,8	0,15	93000
22	Бутилацетат	100	6	3,5	12	1,2	0,14	105000

	$\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9$							
23	н-ксилол $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3\text{CH}_3$	20	6,5	4	15	1,3	0,05	141000
24	Этил-ацетат $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	60	6	4,5	20	1,4	0,12	119600
25	Трет-бутиловый спирт $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$	90	6,5	3,8	25	1,5	0,16	87000
26	Кетен $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}$	50	4	2,8	12	1,6	0,09	109000
27	Триметиламин $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$	35	6	3	27	1,9	0,1	105000
28	Диэтиловый эфир $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$	40	7	3,3	13	1,8	0,23	108500
29	Дихлорэтан $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	30	10	3	-5	1,8	0,26	110000
30	Глицерин $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	25	15	3,5	20	1,6	0,12	116000
31	Толуол $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	50	18	3,5	10	2,2	0,25	106000

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 2

Теплосодержание газов при постоянном давлении

Температура, °С	Теплосодержание, кДж/м³					
	O ₂	N ₂	Воздух	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
0	0	0	0	0	0	0
100	131,8	130,1	130,1	170,1	150,6	181,4
200	267,2	260,9	261,6	357,7	301,7	377,9
300	407,1	393,6	395,4	559,7	463,0	587,0
400	551,4	528,7	532,1	772,6	626,8	824,6
500	669,3	666,6	672,0	925,1	786,2	1034,9
600	850,6	807,8	814,5	1225,6	969,5	1269,6
700	1004,7	951,9	960,3	1463,1	1149,7	1507,5
800	1160,6	1098,2	1108,2	1706,2	1335,3	1746,4
900	1319,0	1246,9	1258,7	1953,8	1527,2	1994,8
1000	1478,6	1398,2	1410,7	2205,2	1724,2	2237,4
1100	1639,5	1551,1	1564,9	2460,4	1926,5	2488,8
1200	1802,1	1705,3	1720,4	2718,5	2133,9	2735,2
1300	1965,1	1808,8	1877,5	2979,1	2345,5	2979,5
1400	2129,8	1861,2	2035,5	3241,4	2560,9	3238,0
1500	2295,7	2176,7	2194,7	3505,7	2781,3	3488,2
1600	2462,4	2335,5	2355,2	3771,4	3004,2	3747,5
1700	2630,5	2495,9	2515,7	4039,6	3231,7	4003,1
1800	2799,7	2656,4	2678,2	4307,3	3461,3	4161,2
1900	2969,4	2818,2	2840,4	4579,7	3693,5	4529,8
2000	3140,8	2979,9	3004,2	4847,8	3928,5	4667,6
2100	3311,7	3142,9	3167,6	5118,2	4166,1	5059,4
2200	3497,8	3306,3	3332,3	5392,5	4405,8	5337,2
2300	3659,1	3469,3	3497,4	5660,7	4667,1	5608,7
2400	3834,3	3633,1	3663,3	5933,0	4890,9	5892,8
2500	4009,8	3797,4	3828,8	6209,6	5136,5	6169,8
2600	4184,9	3953,9	3988,4	6487,4	5387,1	6460,1
2700	4368,9	4135,9	4156,5	6761,8	5639,3	6753,8
2800	4546,1	4304,4	4320,7	7033,3	5897,8	7050,9
2900	4729,2	4469,0	4484,9	7311,1	6159,3	7351,3
3000	4914,9	4634,5	4652,1	7589,7	6425,8	7655,1

Таблица 3

№ п/п	Наименование	Химическая формула	Температура (°C)		БЭМЗ (мм)	Теплота (кДж/моль)		Скорост ь распр пламен и (м/с)	Мин. энерг ия за жиг (кДж)	КПР (% об.)
			кипен ия	само восп л		обра зова ния	сгора -ния			
1.	Аммиак	NH ₃	-33,4	650			316,5	680	0,23	15,0...28,0
2.	Ацетилен	C ₂ H ₂	-83,6	335			1301		1,57	2,5...81,0
3.	1,3-Бутадиен	C ₄ H ₆	-4,5	430			2411	0,19	0,54	2,0...11,5
4.	Бутан	C ₄ H ₁₀	-0,5	405	0,98	126	2657	0,25	0,45	1,8...9,1
5.	Бутилен	C ₄ H ₈	-6,2	384			2543	0,27	0,43	1,6...10,0
6.	Водород	H ₂	-252,8	510	0,60		242	0,017	2,70	4,1... 75,0
7.	Диметилвый эфир	CH ₃ OCH ₃	-24,8	350		184	1322	0,5	0,53	3,7... 26,7
8.	1,1-Дифторэтан	C ₂ H ₄ F ₂	-24,7	455				22		3,9...16,9
9.	Дихлорсилан	H ₂ Cl ₂ Si	8,3	100		309				4,0... 98,0
10.	Дициан	C ₂ N ₂	-21,0	800						6,0...32
11.	Изобутан	(CH ₃) ₂ CHCH ₃	-11,7	462		134,5	2649	0,376	0,35	1,8...8,4
12.	Изобутилен	CH ₂ C(CH ₃) ₂	-7,0	465			2577	0,471	0,38	1,8...9,6
13.	Кетен	C ₂ H ₂ O	-41,0				543			4,5...50,0
14.	Метан	CH ₄	-161,8	537		75	802	0,28	0,34	5,3...14,1
15.	Метилэтиловый эфир	CH ₃ OC ₂ H ₅	6,8	190		216	2107			2,2...10,1
16.	Оксид углерода	CO	-192,0	605		110,5	283			12,5...74,0
17.	Оксид этилена	C ₂ H ₄ O	10,4	430	0,59	54	1220	0,06	0,895	3,2 ... 100
18.	Пропан	C ₃ H ₈	-42,1	470	0,92	104	2044	0,25	0,39	2,3...9,4
19.	Пропилен	C ₃ H ₆	-47,7	455	0,70		1919	0,24	0,51	2,4...11,0
20.	Метилацетилен	C ₃ H ₄	-23,2				1939	0,11	0,71	2,7...18,0
21.	Тетрафторэтилен	C ₂ F ₂	-76,0	190		659				11,0...60,0
22.	Триметиламин	C ₃ H ₉ N	3,0	190		51	1986			2,0...12,0
23.	Формальдегид	HCHO	-19,5	430		116	571			7,0... 73,0
24.	Хлорметан	CH ₃ Cl	-24,2	625	1,00		641			7,6...19,0
25.	Хлорэтан	C ₂ H ₅ Cl	12,2	510	1,03		1251			3,8...15,4
26.	Этан	C ₂ H ₆	-88,6	515	0,91	84,7	1576	0,24	0,48	2,9...15,0
27.	Этилен	C ₂ H ₄	-103,7	435	0,59		1318	0,12	0,735	2,7...34,0

Таблица 4

Характеристики пожарной опасности индивидуальных жидкостей

№ п/ п	Наименование	Химическая формула	плот- ность (кг/м³)	температура (°C)			Теплота (кДж/моль)		КПР (% об.)	ТПР (°C)
				кип	вс	сам	образ.	сгор.		
1.	Акриловая кислота	C_2H_3COOH	1051	141,0	48	440	336,0	1280	3,0 ... 17,0	43 ... 93
2.	Аллиловый спирт	C_3H_5OH	854	97,0	21	370	131,8	2039	2,5 ... 18,0	21 ... 53
3.	Амилацетат	$CH_3COOC_5H_{11}$	876	149,2	43	290	556,8	3890	1,1 ... 7,2	35 ... 80
4.	н-Амиловый спирт	$C_5H_{11}OH$	811	138,0	48	300	302,5	3384	1,5 ... 8,3	45 ... 89
5.	Анилин	$C_6H_5NH_2$	1022	184,1	73	617	109,0	3016	1,3 ... 7,5	70 ... 106
6.	Ацетальдегид	CH_3CHO	783	20,2	-40	172	166,4	1192	4,1 ... 57,0	-43 ... 8
7.	Ацетон	CH_3COCH_3	791	56,5	-18	535	217,6	1821	2,7 ... 13,0	-20 ... 6
8.	Бензол	C_6H_6	874	80,1	-11	560	82,9	3169	1,4 ... 8,0	-15 ... 13
9.	Бутилацетат	$CH_3COOC_4H_9$	882	126,5	29	330	526,0	3285	1,4 ... 9,0	22 ... 61
10.	н-Бутиловый спирт	C_4H_9OH	805	117,0	35	340	274,6	2728	1,8 ... 10,9	34 ... 67
11.	Гексан	C_6H_{14}	655	68,7	-23	233	167,2	3887	1,2 ... 7,5	- 26 ... 4
12.	Глицерин	$C_3H_5(OH)_3$	1260	290,0	198	400		1483	2,6 ... 11,3	182...217
13.	1,2 -Дихлорэтан	$(CH_2Cl)_2$	1253	83,5	9	413		1076	6,2 ... 16,0	8 ... 31
14.	Диэтиловый эфир	$C_2H_5OC_2H_5$	714	34,5	-41	180	252,2	2531	1,7 ... 49,0	-44 ... 16
15.	н-Ксилол	$C_6H_5CH_2CH_3$	857	138,3	26	528	24,4	4375	1,1 ... 6,5	24 ... 58
16.	Метилацетат	CH_3COOCH_3	933	57,0	-15	470	409,1	1472	3,2 ... 14,8	-16 ... 11
17.	Метиловый спирт	CH_3OH	787	64,9	6	440	201,3	764	7,0 ... 35,5	5 ... 39
18.	Муравьиная кислота	$HCOOH$	1220	100,6	60	600	379,6	211	18,0...58,0	50 ...
19.	Нитробензол	$C_6H_5NO_2$	1205	210,9	88	480			1,8...	83 ...
20.	Пентан	C_5H_{12}	621	36,0	-44	286	146,4	3272	1,5 ... 7,7	-48 ...-23
21.	н-Пропиловый спирт	C_3H_7OH	801	97,8	23	371	257,7	2067	2,3 ... 13,6	21 ... 55
22.	Сероуглерод	CS_2	1260	46,0	-43	102	88,7	184	1,0 ... 50,0	-50 ... 26
23.	Стирол	$C_6H_5C_2H_3$	902	145,0	30	490	155,6	4439	1,1 ... 7,2	27 ... 67
24.	Толуол	$C_6H_5CH_3$	867	110,6	7	535	50,2	3772	1,3 ... 6,8	6 ... 37
25.	Уксусная кислота	CH_3COOH	1049	118,1	40	465	437,3	786	4,0 ... 19,9	35 ... 76
26.	Цианистый водород	HCN	688	25,6	-18	538			5,6 ... 40,0	-31 ... 3
27.	Этилацетат	$CH_3COOC_2H_5$	900	77,0	-3	446	442,9	2078	2,0 ... 11,4	-6 ... 28
28.	Этилбензол	$C_6H_5C_2H_5$	863	136,2	20	431	29,9	4387	1,0 ... 6,8	20 ... 59
29.	Этиленгликоль	$C_2H_4(OH)_2$	1116	197,0	111	412	453,8	1200	4,3...	100...124
30.	Этиловый спирт	C_2H_5OH	785	78,5	13	400	234,9	1408	3,6 ... 17,7	11 ... 41

Таблица 5. Характеристики пожарной опасности твёрдых веществ, пыли.

№п /п	Наимено- вание	Химическая формула	Плот- ность кг/м³	Температура (°C)			Теплота сгорания , кДж/кг, *кДж/мо ль	Для пылей				
				плав	кип.	сам		Тсам (°C)	НКП Р г/м³	Рвз (КПа)	Ско- рость нараст. Р Мпа/с	Мин. энергия зажиг. МДж
1	Алюминий	Al	2700	660	2486	470	31087	520	40	1300	24,1	
2	Аммиачная селитра	NH ₄ NO ₃	1725	170		350			175			
3	Антрацит		140... 1750			500	33900... 34800					
4	Бумага					390 440		170.. 270	55.. 70	221.. 662	4,8.. 24,8	20... 60
5	Глюкоза	C ₆ H ₁₂ O ₆	1571	145		520	2803*	403				
6	Древесина еловая		422...432			397	2035		27	550	6,7	
7	Кальций	Ca	1550	851	1482	730	633,7*					
8	Канифоль	C ₁₉ H ₂₉ COOH	1010...10 20	100... 130		860	30400	390	15	600	82,6	10
9	Капролактam	C ₆ H ₁₁ ON	1023	70	262,5	400	3604*	400	43	730	20	
10	Капрон	(NH(CH ₂) ₅ CO)n	1140			440	31086		32	580	9,8	
11	Каучук натур	(C ₅ H ₈)n	910			375	44769					
12	Кремний	Si	2328	1423	2600			780	100	750	84	80
13	Магний	Mg	1740	651	1107	650	25104	420	10.. 20	670	6,8	20
14	Мочевина (карбамид)	CH ₄ ON ₂	1335	133			553*	470	70	590	500	80
15	Мука		650			380	16807	380	10.. 35	520	8	6,4
16	Натрий	Na	970	97,7	883	330 360	10878					
17	Нафталин	C ₁₀ H ₈	1140	80,3	218	520	5050		8	440	7,8	
18	Сажа	C	0,3 ...1,9			200 570	15648.. 28326	695.. 790	60	920	8,5	
19	Сахар	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	1588	160			5640*	310.. 420	35.. 58	565	10,3	10... 40
20	Сено		70				16652	490	200	440	4,2	260
21	Сера	S	1960...207 0	113.. 119	444,6	232	9205	190	2,3.. 35	560	32,4	15
22	Торф		420				15126	405	87	700	3	
23	Уголь бурый		900... 1500			410	12550... 25000					
24	Фенол	C ₆ H ₅ OH	1058	43	182	595	2992*					
25	Фосфор жёл.	P	1828	44,1	257	44						
26	Фосфор кр.	P	2200	280	585	210 ... 240		305	14	635	167	
27	Хлопок					407			44.. 90	630	12,9	25
28	Целлюлоза		1500			420		407		860... 910	56	25

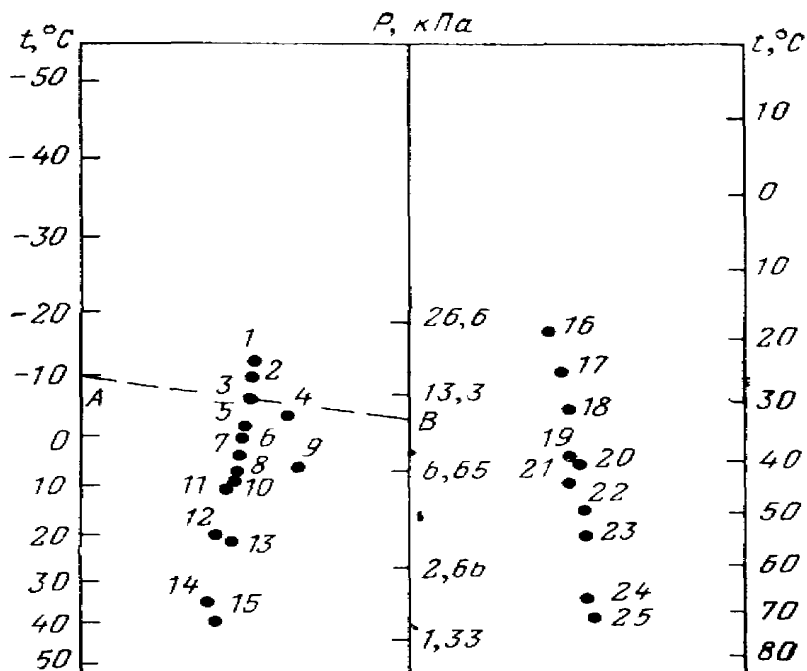
Давление насыщенных паров жидкостей

Таблица 6

№ п/п	Наименование жидкости	Давление насыщенных паров, /Па/ при температуре, К												
		243	253	263	273	283	293	303	313	323	333	343	353	363
1.	н.Амиловый спирт				80	177	368	737	1406	2576	3897	6010	10613	17330
2.	Ацетон	1490	2890	5147	8419	14670	24472	37240	55767	80972				
3.	Анилин						61	128	253	473	848	1454	2414	3885
4.	Бакин.авиабензин				11704	15162	20482	27930	37639					
5.	Бензол	477	984	1942	3538	5945	9842	15747	24140	35737				
6.	Бутиловый спирт					270	626	1224	2381	4402	7814	13239	21386	40538
7.	Бутилат			479	931	1849	3325	5679	9430	16212				
8.	н.Гексан	942	1257	3442	6051	10089	16133	24880	37140	53931	75837			
9.	Диэтиловый эфир	5001	8911	14936	24525	38144	57549	84428	120631	168216				
10.	н. Ксилол						875	1577	2721	4475	7077	10861	16106	
11.	Метиловый спирт		825	1782	3564	6677	11784	19950	32385	50766				
12.	Метилат		2527	4675	8259	13938	22853	35245						
13.	Пропиловый спирт				435	950	1928	3697	6756	11770	19311	31255		
14.	Сероуглерод		6450	10773	17543	26999	40139	58121	82061					
15.	Скипидар				266	386	585	918	1436	2258	2953			
16.	Толуол	97	226	452	891	1689	2966	4948	7887	12369				
17.	Этилацетат		865	1716	3219	5692	9682	15787	24432	37546	55075			
18.	Этиловый спирт		333	745	1623	3165	5852	10387	17742	29233				

Номограмма для определения давления насыщенного пара жидкостей.

1—изопрен, 2—диэтиловый эфир, 3—сероуглерод, 4—бакинский авиабензин, 5 — этилформиат, 6 — метилацетат, 7 — *n* гексан, 8 — четыреххлористый углерод, 9 — грозненский авиабензин, 10 — бензол, 11 — этилацетат, 12 — бутилацетат, 13 — толуол, 14 — керосин, 15 — скипидар, 16 — ацетон, 17 — метиловый спирт, 18—этиловый спирт, 19— вода, 20—*n* пропиловый спирт, 21— уксусная кислота; 22 — *n*-бутиловый спирт, 23 — *n*-амиловый спирт, 24 — бензальдегид, 25 — анилин



Список литературы

1. А.Я. Корольченко Процессы горения и взрыва. М: Познаука 2007
2. А.Я. Корольченко, Д.А.Корольченко Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения (2 т) М: Познаука2006
3. Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ М:ФИЗМАТ ЛИТ 2006
4. Л.П. Орленко Физика взрыва и удара М:ФИЗМАТ ЛИТ 2006
5. Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблат, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе Математическая теория горения и взрыва М:Наука
6. И.М. Абдурахимов, А.С. Андросов, Л.К. Исаева, Е.В. Крылов Процессы горения М: ВНИИПО 1986
7. П.Г. Демидов, В.А. Шандыба Горение и свойства горючих веществ. М.: Химия 1981
8. В.В. Померанцев Основы практической теории горения. Л.: Энергоатомиздат 1986
9. В.И. Водянин Взрывозащита технологического оборудования. М.: Химия 1991
10. П.Г. Демидов Топливо и процессы горения М.: Химия 1981
11. Д. Драйздел Введение в динамику пожаров (перевод Бромштейна П.Г.). М.: Стройиздат 1990

