

ТЕПЛОФИЗИКА

Методические рекомендации по выполнению
контрольной работы

~~приложение к учебнику «Теплофизика» для учащихся 10-11 классов общеобразовательных учреждений~~

Введение

Курс «Теплофизика» предусматривает изучение основ термодинамики и теплопередачи, включающие в себя основные газовые законы, основные законы термодинамики, принципы и законы истечения газов и паров, изучение основных видов передачи тепла, с подробным рассмотрением каждого из них. Практическая составляющая курса включает навыки решения задач по всем разделам теплотехники.

Контрольная работа выполняется с целью углубления теоретических знаний, а также для текущего контроля усвоения дисциплины.

Методические указания имеют своей целью помочь в выполнении контрольной работы. Они включают в себя единые требования к содержанию, структуре и объему контрольной работы.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1.1. Требования к выбору вариантов и оформлению контрольной работы

Контрольная работа дисциплине «Теплофизика» предназначена для закрепления теоретических основ «Теплофизики». Задание на контрольную работу содержит 100 вариантов. Вариант контрольной работы определяется в соответствии с последними цифрами зачётной книжки слушателя-заочника. Задания, соответствующие номеру варианта, приведены в табл. 1 в начале методических указаний. При необходимости преподаватель может изменить вариант контрольной работы слушателю-заочнику с учётом специфики его работы.

Прежде чем приступить к выполнению контрольной работы, слушатель-заочник должен внимательно ознакомиться с методическими указаниями, подобрать и изучить соответствующую литературу. Контрольная работа должна быть выполнена на листах А4 разборчивым подчерком, или распечатанной на компьютере. Все схемы, графики, рисунки, диаграммы выполняются карандашом с помощью чертёжных инструментов. Объём контрольной работы не должен превышать 20 листов. При использовании справочного материала необходимо приводить ссылку на литературу, откуда этот материал взят. В конце работы приводится список использованной литературы.

Работа оценивается с учётом глубины изложения материала, самостоятельности выполнения работы, а также умения связывать теоретические вопросы с практической работой пожарной охраны.

Выполненная работа направляется на рецензирование в срок, указанный в графике заочного отделения. Получив рецензию на контрольную работу, слушатель-заочник должен внимательно ознакомиться с замечаниями рецензента, сделать работу над ошибками и быть готовым к защите контрольной работы. Защита проводится путём собеседования.

Работа, выполненная не по своему варианту, не полностью раскрывающая вопросы задания или являющаяся результатом дословного списывания с текста учебника или другого пособия, к зачёту не принимается.

1.2. Основные обозначения и единицы измерения

- Q - тепловой поток, Вт
- q - плотность теплового потока, Вт/м²
- q_l - линейная плотность теплового потока, Вт/м
- T - абсолютная температура, К
- t - температура международной практической шкалы, °С
- t_f - температура среды, °С
- t_w - температура поверхности, °С

- t_0 - начальная температура тела, °С
- l - определяющий размер, м
- F - площадь поверхности теплообмена, m^2
- λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
- c_t - удельная теплоёмкость, кДж/(кг К)
- ρ - плотность, kg/m^3
- a_t - коэффициент температуропроводности, m^2/kg
- ν - коэффициент кинематической вязкости, m^2/c
- w - скорость движения среды, м/с
- g - ускорение свободного падения, m/c^2
- α_k - коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/($m^2 \cdot K$)
- α_1, α_2 - коэффициент теплообмена, Вт/($m^2 \cdot K$)
- k - коэффициент теплопередачи, Вт/($m^2 \cdot K$)
- k_l - линейный коэффициент теплопередачи, Вт/($m^2 \cdot K$)
- ϵ_k - коэффициент конвекции
- τ - предел огнестойкости, мин; время прогрева, мин
- ϵ - степень черноты
- C_0 - коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, Вт/($m^2 \cdot K^4$)
- $erf(A)$ - функция Крампа
- A - аргумент функции Крампа

1.3. Варианты контрольных заданий

Таблица 1

№ вар.	Номера заданий						№ вар.	Номера заданий						
00	3	11	21В	31В	35В	45В	40	3	15	26В	34а	44Г	51б	
01	4	12	22В	32В	36В	46В	41	4	16	27В	35а	45Г	48Д	
02	5	13	23В	33В	37В	47В	42	5	17	28В	36а	46Г	49Д	
03	6	14	24В	34В	38В	48В	43	6	18	21Г	28б	35а	47Г	
04	7	15	25В	35В	39В	49В	44	7	19	22Г	30б	37а	49б	
05	8	16	26В	36В	40В	50В	45	8	20	23Г	32б	39а	51б	
06	9	17	27В	29В	41В	51В	46	9	11	24Г	34б	41а	48б	
07	10	18	28В	30В	42В	49В	47	10	12	25Г	36б	43	50б	
08	1	19	21Г	32Г	37Г	46Г	48	1	13	26Г	29б	45а	48б	
09	2	20	22Г	33Г	38Г	47Г	49	2	14	27Г	31б	36а	51б	
10	3	12	23Г	34Г	39Г	48Г	50	3	16	28Г	33б	38а	49б	
11	4	13	24Г	35Г	40Г	49Г	51	4	17	21Д	28Г	36б	39В	
12	5	14	25Г	36Г	41Г	50Г	52	5	18	22Д	31Г	34б	41В	
13	6	15	26Г	29Г	42Г	51Г	53	6	19	23Д	33Г	46б	47В	
14	7	16	27Г	30Г	43	47Г	54	7	20	24Д	30Г	45б	50В	
15	8	17	28Г	31Г	44Г	48Г	55	8	11	25Д	29Г	38б	51В	
16	9	18	21Д	33Д	39Д	51Д	56	9	12	26Д	32Г	39б	49В	
17	10	19	22Д	34Д	40Д	50Д	57	10	13	27Д	35Г	45В	48В	
18	1	20	23Д	35Д	41Д	49Д	58	1	14	28Д	38Г	46В	50В	
19	2	11	24Д	36Д	42Д	48Д	59	2	15	21а	32б	38В	45Г	
20	3	13	25Д	29Д	43	47Д	60	3	17	22а	33б	39В	46Г	
21	4	14	26Д	30Д	44Д	46Д	61	4	18	23а	29б	40В	48Г	
22	5	15	27Д	31Д	37Д	45Д	62	5	19	24а	30б	41В	50Г	
23	6	16	28Д	32Д	38Д	44Д	63	6	20	25а	31б	42В	47Г	
24	7	17	21а	29а	34б	44а	64	7	11	26а	32б	43	49Г	
25	8	18	22а	30а	37а	45а	65	8	12	27а	33б	44В	47Д	
26	9	19	23а	31а	38а	46а	66	9	13	28а	36б	37В	51Г	
27	10	20	24а	32а	39а	47а	67	10	14	21б	29В	37В	45Г	
28	1	11	25а	33а	40а	48а	68	1	15	22б	31В	39Д	47а	
29	2	12	26а	34а	41а	49а	69	2	16	23б	33В	41Д	49а	
30	3	14	27а	35а	42а	50а	70	3	18	24б	35В	43Д	51а	
31	4	15	28а	36а	43	51а	71	4	19	25б	30В	38Д	46а	
32	5	16	21б	30б	36б	51б	72	5	20	26б	32В	40Д	48а	
33	6	17	22б	29б	37б	44б	73	6	11	27б	34В	42Д	50а	
34	7	18	23б	30б	38б	45б	74	7	12	28б	36В	44Д	47а	
35	8	19	24б	31б	39б	46б	75	8	13	21В	34а	39Г	48б	
36	9	20	25б	32б	40б	47б	76	9	14	22В	35а	40Г	49б	
37	10	11	26б	33б	41б	48б	77	10	15	23В	36а	41Г	47б	
38	1	12	27б	34б	42б	49б	78	1	16	24В	37а	42Г	49б	
39	2	13	28б	35б	43	50б	79	2	17	25В	38а	43	50б	

Окончание таблицы 1

80	3	17	23д	35Г	47Г	48д	90	7	13	28д	36а	46в	51б
81	4	18	23а	29в	41Г	47б	91	8	14	27а	37Г	45б	50а
82	5	19	25б	30а	35Г	39в	92	9	15	21б	34д	42б	48а
83	6	20	27в	33б	36Г	48а	93	10	16	24в	29б	35д	39б
84	7	11	29Г	38Г	45д	51д	94	1	17	26Г	31а	34Г	40в
85	8	12	21д	34Г	39д	49Г	95	2	18	22д	32в	36а	41Г
86	9	13	22а	32д	37д	44а	96	3	19	22а	30б	39Г	46д
87	10	14	24б	28а	36а	43	97	4	20	23б	28в	38д	47Г
88	1	15	26в	31б	38б	45в	98	5	11	25в	33Г	37а	43
89	2	16	28Г	37в	46в	50Г	99	6	12	24Г	35д	44а	49в

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

2.1. Перечень теоретических вопросов

1. Основные виды передачи тепла.
2. Теплопроводность при стационарном режиме. Температурный градиент, изотермическая поверхность. Закон Фурье.
3. Теплопроводность одно- и многослойных цилиндрических стенок.
4. Теплопроводность одно- и многослойных плоских стенок.
5. Нестационарная теплопроводность. Прогрев стен и колонн. Стандартный температурный режим.
6. Конвективный теплообмен. Факторы, влияющие на интенсивность конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона - Рихмана.
7. Теплообмен при естественной циркуляции воздуха. Конвективный теплообмен в неограниченном объёме и в прослойках.
8. Конвективный теплообмен при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при вынужденном движение жидкости по каналам.
9. Конвективный теплообмен при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при поперечном обтекании труб.
10. Теплообмен при изменении агрегатного состояния (кипение, конденсация).
11. Тепловое излучение. Основные законы лучистого теплообмена.
12. Лучистый теплообмен между телами (плоскопараллельными, свободно ориентированными в пространстве, концентрически расположенными поверхностями).
13. Тепловые экраны. Виды, назначение, методика расчёта отражающих экранов.
14. Излучение в ослабляющей среде.
15. Излучение факела.
16. Излучение факела на пожаре. Минимально безопасные расстояния. Методика расчёта минимально безопасных расстояний.
17. Сложный теплообмен. Теплопередача через одно- и многослойные плоские стенки.
18. Сложный теплообмен. Теплопередача через одно- и многослойные цилиндрические стенки.
19. Классификация теплообменных аппаратов.
20. Топливо. Классификация топлив. Характеристика топлив.

2.2. Перечень задач

21. Определить количество теплоты, передаваемое в единицу времени через стену из силикатного кирпича длиной 3 м, высотой 2 м, если толщина стены и температуры на поверхностях стены следующие:

Вариант	δ , мм	t_1 , °C	t_2 , °C
а	100	20	-10
б	150	20	-15
в	200	30	-20
г	250	35	-25
д	300	35	-30

22. Противопожарный занавес для театральной сцены теплоизолирован. Рассчитать толщину этой теплоизоляции, если температура на необогреваемой поверхности занавеса не должна превышать 160°C. Плотность теплового потока q , материал занавеса и температуру на обогреваемой стороне занавеса (t_1) принять в соответствии со своим вариантом

Вариант	материал	q , Вт/м ²	t_1 , °C
а	совелит	1400	2000
б	вермикулит	1550	1750
в	совелит	1650	1500
г	вермикулит	1700	1250
д	вермикулит	1750	1200

23. Между слоями красного и шамотного кирпича, толщина каждого из которых 12 см, засыпан котельный шлак. Рассчитать толщину этой засыпки с условием, чтобы температура на наружной поверхности красного кирпича не превышала 90°C. Температура на обогреваемой поверхности шамотного кирпича и плотность теплового потока соответственно равны:

Вариант	q , Вт/м ²	t_1 , °C
а	850	600
б	950	650
в	1050	700
г	1150	750
д	1250	800

Коэффициент теплопроводности материалов взять при средней температуре стены.

24. Через стенку здания из ЛМК (легкие металлические конструкции) проходит стальной паропровод. В качестве утеплителя в стальных панелях использован пенополистирол. Допустимая температура нагрева

пенополистирола 313 К. Для исключения нагрева полистирола паропровод при проходе через стенку заключен в гильзу из керамзитобетона. Рассчитать толщину стенки теплоизоляционной гильзы. Потери тепла через гильзу 45 Вт на метр длины. Температура внутренней поверхности паропровода и диаметры трубы соответственно равны:

Вариант	$t_1, ^\circ\text{C}$	$d_2, \text{мм}$	$d_3, \text{мм}$
а	800	500	900
б	700	400	800
в	600	300	700
г	500	200	600
д	400	100	500

25. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной 250 мм и слоя строительного волокна толщиной 200 мм. Коэффициент теплопроводности строительного волокна 0.056 Вт/м·К. Определить потери тепла через 1 м² стенки и температуру в плоскости соприкосновения слоев, если на внешней поверхности кирпичного слоя и внешней поверхности войлочного слоя установились температуры:

Вариант	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$
а	100	20
б	150	25
в	180	30
г	210	40
д	250	45

26. Определить температуру на наружной поверхности вращающегося шарообразного варочного котла, внутренний диаметр которого 1300 мм, а общая толщина стенки котла и слоя теплоизоляции 250 мм. Тепловой поток через тепловую изоляцию не должен превышать 600 Вт. Температура на внутренней поверхности и материал изоляции взять в соответствии со своим вариантом:

Вариант	$t_1, ^\circ\text{C}$	материал теплоизоляции
а	150	стеклянная вата
б	200	асбестовый картон
в	250	асбестовая ткань
г	300	асбоцементные скорлупы
д	350	асбестостеклянная ткань

27. Рассчитать толщину слоя тепловой изоляции из альфоля гофрированного, расположенного между слоями силикатного и шамотного кирпича толщиной 215 мм. Температура на наружной поверхности не должна превышать 90°C. Температура на внутренней поверхности силикатного кирпича и плотность теплового потока соответственно равны:

Вариант	$q, \text{Вт/м}^2$	$t_1, ^\circ\text{C}$
а	1000	300
б	1100	400
в	1200	500
г	1300	600
д	1400	700

Коэффициент теплопроводности альфоля гофрированного принять равной средней температуре теплоизоляции.

28. Определить требуемую толщину защитного слоя арматуры железобетонного перекрытия из песчаного бетона, если начальная температура стены 20°C . Температура на поверхности арматуры не должна превышать 470°C . Время прогрева и температуру обогреваемой поверхности взять в соответствии с вариантом:

Вариант	$\tau, \text{мин}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
а	5	800
б	10	850
в	15	900
г	20	950
д	25	1000

29. Деревянная стена защищена слоем из шамотного кирпича. Определить температуру в точке соприкосновения кирпичной кладки с деревянной стеной и сделать вывод о возможности самовоспламенения древесины, если начальная температура кирпичной кладки 20°C . Толщина кирпичной кладки, время прогрева и температура обогреваемой поверхности указаны в таблице:

Вариант	$\tau, \text{мин}$	$\delta, \text{м}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
а	120	0.05	700
б	132	0.15	750
в	150	0.20	800
г	162	0.25	900
д	180	0.30	1000

30. Определить время теплового воздействия на противопожарную стену из аглоперлитобетона, считая её полуограниченным телом, если начальная температура 20°C , а температура обогреваемой поверхности и толщина стенки соответственно равны:

Вариант	$\delta, \text{мм}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
а	200	750
б	230	800
в	260	850
г	300	900
д	330	950

31. Железобетонная плита перекрытия изготовлена из керамзитобетона. При начальной температуре плиты в 25°C в условиях стандартного

пожара с одной стороны плита подвергается нагреву. Определить температуру на необогреваемой стороне плиты, если толщина плиты и время горения соответственно равны:

Вариант	δ , см	τ , мин
а	10	40
б	15	50
в	20	60
г	25	70
д	30	80

32. Плита перекрытия из бетона на песчаном щебне толщиной 250 мм подвергается нагреву в условиях стандартного температурного режима. Начальная температура 15°C. Определить температуру на поверхности арматуры, если толщина защитного слоя арматуры и время нагрева соответственно равны:

Вариант	x , см	τ , мин
а	2.0	60
б	2.5	90
в	3.0	120
г	3.5	150
д	4.0	180

Принимая критическую температуру арматуры равной 450°C, сделать вывод о возможности обрушения конструкции.

33. Определить предел огнестойкости перегородки из бетона на гранитном щебне, считая её полуограниченным телом, подвергающейся одностороннему нагреву в условиях стандартного температурного режима, если начальная температура конструкции 20°C, температура на необогреваемой поверхности не должна превышать 160°C, толщина перегородки соответственно равна:

Вариант	δ , см
а	10
б	12
в	8
г	16
д	14

34. Определить количество тепла, отдаваемое дымовыми газами ограждающим поверхностям помещения при пожаре. Внутренние размеры помещения: ширина – 4 м, длина – 6 м, высота 3.5 м. Средняя температура дымовых газов (t_f) и температуры поверхностей ограждающих конструкций (t_w) соответственно равны:

Вариант	$t_f, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
а	200	75
б	400	190
в	600	350
г	800	570
д	100	840

35. Определить плотность теплового потока от поверхности печи к сгораемой поверхности в конвективном теплообмене при условии, толщина противопожарной закрытой отступки 15 см. что температура сгораемой поверхности 50°C , а температура поверхности печи соответственно равна:

Вариант	$t_{w1}, ^\circ\text{C}$
а	100
б	120
в	140
г	160
д	180

36. Определить плотность теплового потока от дымовых газов к поверхности дымохода длиной 20 м сечением 125×125 мм. Дымовые газы движутся со скоростью 3 м/с. Средняя температура дымовых газов и температура поверхности дымохода соответственно равны:

Вариант	$t_f, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
а	500	350
б	450	325
в	400	300
г	350	250
д	300	200

37. Воздухоподогреватель представляет собой коридорный пучок труб, который обтекается поперечным потоком воздуха. Диаметр труб 50 мм. Средняя температура потока воздуха 200°C . Число рядов по ходу газов 20. Шаги труб $s_1 = s_2$. Определить плотность теплового потока.

Вариант	$w, \text{м/с}$
а	8
б	6
в	10
г	15
д	22

38. Трубы диаметром 80 мм расположены в коридорном порядке. Определить средний коэффициент теплообмена между поперечным потоком дымовых газов и стенками труб котельного пучка. По направлению потока газов в пучке 4 ряда труб с одинаковой поверхностью. Шаги труб поперёк лотка $2d$, вдоль - $1.5d$. Температура газов перед пучком 1100°C , за пучком 900°C . Скорость движения в пучке соответственна равна:

Вариант	w, м/с
а	4
б	6
в	8
г	10
д	12

39. Определить минимальное расстояние, обеспечивающее безопасность соседнего с горящим дома, если горит деревянный дом длиной A , высотой H .

Кроме того, оценить безопасное расстояние от факела для личного состава, работающего на пожаре без средств защиты, от теплового воздействия при условии: а) кратковременного пребывания; б) длительной работы. При кратковременном тепловом воздействии для кожи человека $q_{кр} = 1120 \text{ Вт/м}^2$, при длительном $q_{кр} = 560 \text{ Вт/м}^2$. При решении задачи учитывать только теплообмен излучением. Коэффициент безопасности принять равным 1,2.

Вариант	A, м	H, м
а	5	4
б	6	5
в	7	6
г	8	4
д	9	5

40. Определить, во сколько раз уменьшится плотность теплового потока между двумя плоскопараллельными поверхностями, если между ними установить однослойный экран из полированного алюминия. Степени черноты поверхностей взять в соответствии со своим вариантом.

Вариант	ϵ_1	ϵ_2
а	0.45	0.80
б	0.50	0.85
в	0.65	0.88
г	0.75	0.90
д	0.85	0.95

41. Можно ли применять экран из шлифованной стали для защиты деревянного простенка из сосновой древесины от печи, выполненной из красного кирпича, если допустимая температура применения данного экрана 1020 К? Температуру печи взять в соответствии со своим вариантом.

Вариант	t, °C
а	6000
б	3600
в	1300
г	1000
д	900

Все недостающие параметры взять в соответствующих приложениях.

42. Определить требуемое количество экранирующих слоёв из шлифованной листовой стали для защиты деревянной конструкции от лучистой тепловой энергии, если степень черноты излучающей поверхности 0.8. Плотность теплового потока соответственно равна:

Вариант	q, Вт/м ²
а	4000
б	4500
в	5000
г	5500
д	6000

Степень черноты материала экрана, сосновой шероховатой древесины и критическую плотность теплового потока для древесины выбрать по соответствующим приложениям.

43. Определить количество листов полированного алюминия, расходуемого на устройство экранирующих щитов, предназначенных для защиты людей в условиях длительной работы по тушению пожара газового фонтана. Степень черноты боевой одежды принять 0,8.

44. Дать заключение о достаточности минимально безопасного расстояния между двумя деревянными домами, если коэффициент безопасности равен 1.2. Длину дома (А), высоту до конька (Н) и величину минимально безопасного расстояния взять в соответствии со своим вариантом.

Вариант	А, м	Н, м	l, м
а	5	4	4
б	6	5	6
в	8	6	8
г	10	7	10
д	12	3	12

Все недостающие данные взять в соответствующих приложениях.

45. Найти максимальную высоту штабеля сосновых досок, если размер досок и расстояние между штабелями соответственно равны:

Вариант	длина доски, м	l, м
а	3	2
б	4	3
в	5	4
г	6	5
д	7	6

Все недостающие данные взять в соответствующих приложениях.

46. Определить коэффициент теплообмена и плотность теплового потока в лучистом теплообмене между дымовыми газами и стенками дымохода, если в дымовых газах содержится 13% CO₂ и 11% H₂O. Сечение дымохода $a \times b = 25 \times 12.5$ см, высота $h = 3$ м. Температуры дымовых газов и поверхности стенки соответственно равны:

Вариант	$t_f, ^\circ\text{C}$	$t_w, ^\circ\text{C}$
а	200	170
б	400	350
в	600	550
г	800	755
д	1000	965

47. При продолжительном пожаре в подвальном помещении установилась температура среды t'_f . Температура в помещении со стороны первого этажа равна 20°C. Определить температуру на поверхности перекрытия со стороны первого этажа, если оно выполнено из песчаного бетона толщиной 25 см. Температуру t'_f выбрать в соответствии со своим вариантом.

Вариант	$t'_f, ^\circ\text{C}$
а	250
б	450
в	650
г	750
д	850

48. Для изоляции стенки топливника технологической печи между слоями, выполненными из шамотного и красного кирпича, засыпан котельный шлак. Определить толщину засыпки из котельного шлака, если толщина слоя из шамотного кирпича 125 мм, толщина слоя красного кирпича 100 мм, температура в помещении равна 20°C, а температура на наружной

поверхности печи не должна превышать 90°C. Температуру среды в топличнике взять в соответствии со своим вариантом.

Вариант	$t'_f, \text{ }^\circ\text{C}$
а	700
б	800
в	900
г	1000
д	1100

49. Рассчитать необходимую толщину слоя тепловой изоляции паропровода, выполненного из углеродистой стали диаметром $d_1/d_2=50/53$ мм, чтобы температура на внешней поверхности теплоизоляции не превышала 60°C. Температура окружающей среды 10°C. Температуру паровоздушной смеси и материал теплоизоляции взять в соответствии со своим вариантом.

Вариант	$t'_f, \text{ }^\circ\text{C}$	материал теплоизоляции
а	100	стеклянная вата
б	120	асбестовый картон
в	140	асбестовая ткань
г	160	асбоцементные скорлупы
д	200	асбестостеклянная ткань

50. Подобрать эффективную теплоизоляцию паропровода, диаметр которого 50 мм. Температура на наружной поверхности изолятора не должна превышать

Вариант	$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$
а	60
б	65
в	67
г	70
д	75

51. В цистерне длиной 1,6 м пожарного автомобиля для подачи воды необходимо установить трубчатый теплообменник. Расход воды 30 кг/с. Вода подаётся в цистерну с температурой 4°C, а из цистерны в рукавную линию с температурой 6°C. Внутри труб движутся дымовые газы со скоростью 10 м/с. Температура дымовых газов на входе равна 550°C, а на выходе - 120°C. Коэффициент теплопроводности стали - 40 Вт/(м °C). Стенки цистерны утеплены так, что потерями тепла через них можно пренебречь. Определить расход дымовых газов, поверхность

теплообмена, общую длину труб, число труб, длину одной трубы и объём, который займут трубы в цистерне, если диаметр труб и коэффициенты теплообмена соответственно равны:

Вариант	d_1 , мм	d_2 , мм	α_1 , Вт/(м ² °С)	α_2 , Вт/(м ² °С)
а	8	10	550	20,5
б	12	14	480	15
в	19	21	410	18,5
г	33	36	360	22,8
д	45	48	340	23,5

2.3. Методические указания по изложению теоретических вопросов

Изложению теоретического вопроса должна предшествовать детальная проработка всего программного материала по курсу «Теплофизика». При подготовке к ответу можно использовать литературу, предложенную в методических указаниях, или любую другую, допущенную Министерством образования РФ в качестве учебного пособия.

При ответе на теоретический вопрос слушатель-заочник обязан руководствоваться материалами методических рекомендаций.

Изложение материала должно сопровождаться соответствующими рисунками, графиками, примерами из пожарной практики, подтверждающими теоретические положения. При написании математических выражений и формул необходимо использование условных обозначений, рекомендованных методическими указаниями.

Заканчиваться ответ должен выводами, связанными с практикой пожарного дела.

Вопрос 1. При ответе на данный вопрос прежде всего необходимо дать определение того, что изучает теплопередача как наука. Затем рассмотреть понятия температурного поля, стационарного и нестационарного теплового режимов, изотермической поверхности, теплового потока и плотности теплового потока с указанием их единиц измерения. Перечислить виды распространения тепла, раскрыть физическую сущность каждого вида и на конкретных примерах показать, какое влияние они оказывают на развитие пожара. Перечислить основные направления при разработке профилактических мероприятий по исключению и ограничению условий развития пожаров вследствие распространения тепла данными видами.

Вопрос 2. В ответе необходимо дать формулировку стационарной теплопроводности, описать физическую сущность передачи тепла этим видом, привести примеры случаев стационарной теплопроводности. Затем следует сформулировать закон Фурье, записать его математическое выражение, пояснить физический смысл входящих в него величин. Особое внимание следует уделить коэффициенту теплопроводности, его физическому смыслу, единицам измерения и зависимости его величины от вида вещества или материала, влажности, плотности, направления теплового потока и температуры. Пояснить, почему и как коэффициент теплопроводности зависит от этих факторов; пользуясь справочными материалами, привести примеры. Показать значение коэффициента теплопроводности в пожарно-профилактической работе.

Вопрос 3. Отвечая на данный вопрос, необходимо вычертить эскиз однослойной плоской стенки, обозначить и пояснить необходимые величины, показать, как изменяется температура стенки по толщине. Затем, используя закон Фурье, сделать вывод уравнения теплопроводности и проанализировать, от чего и как зависит количество тепла, проходящее

сквозь стенку; дать понятие термического сопротивления теплопроводности. Аналогично рассмотреть теплопроводность многослойной плоской стенки. Перечислить типы задач пожарной безопасности и изложить методику их решения. Привести конкретные примеры из практики работы, пояснить, в каких случаях решаются те или иные типы задач.

Вопрос 4. Ответ на вопрос следует начать с примеров того, в каких случаях мы сталкиваемся с расчетом теплопроводности через цилиндрическую стенку. Затем на примере однослойной цилиндрической стенки вывести уравнение теплопроводности. Для этого нужно выполнить эскиз однослойной цилиндрической стенки, показать и пояснить используемые обозначения, объяснить, почему линия, изображающая температурное поле по толщине стенки, имеет криволинейный характер. Дать понятие термического сопротивления теплопроводности. Аналогично проанализировать теплопроводность многослойной цилиндрической стенки. Выявить, от чего зависит количество тепла, проходящее через стенку, показать, как определяется плотность теплового потока, отнесенного к единице длины стенки; сформулировать условие возможности расчета цилиндрической стенки по уравнению для плоской стенки. Рассмотреть типы задач пожарной безопасности и методику их решения.

Вопрос 5. В ответе на данный вопрос необходимо записать формулировку нестационарной теплопроводности, пояснить ее физическую сущность. На примере одностороннего и двустороннего нагрева тела показать графическое изображение температурного поля при нестационарной теплопроводности. Указав, что скорость изменения температурного поля при нестационарной теплопроводности характеризуется коэффициентом температуропроводности, записать его математическое выражение. Пояснить, от каких величин он зависит, установить единицы измерения, выяснить, каким образом влияет величина коэффициента температуропроводности на скорость прогрева строительных конструкций в условиях пожара.

Далее необходимо дать понятие полуограниченного тела, привести примеры, указать условие, при котором плоские конструкции можно считать полуограниченными телами. Затем дать определение граничных условий 1-го рода; записать уравнение нестационарной теплопроводности полуограниченного тела для этих условий; пояснить физический смысл входящих величин; рассмотреть условие применимости этого уравнения для плоских ограждений. Используя эскиз однослойной плоской стенки, рассмотреть типы задач пожарной безопасности и методику их решения. Указать, исходя из каких условий производится решение задач по определению требуемой толщины ограждающих конструкций и их пределов огнестойкости.

Далее следует дать понятие стандартного температурного режима. Пользуясь данными приложения, вычертить график стандартной

температурной кривой, показать практическое значение его при решении задач пожарной безопасности. Затем записать уравнение нестационарной теплопроводности полуограниченного тела при стандартном режиме, пояснить физический смысл входящих величин, рассмотреть типы задач пожарной безопасности и методику их решения.

Вопрос 6. Отвечая на вопрос, необходимо дать определение конвективному теплообмену, пояснить физическую сущность процессов передачи тепла от жидкости к поверхности твердого тела или наоборот. Затем перечислить факторы, влияющие на интенсивность передачи тепла, и пояснить их суть. Сформулировать закон Ньютона - Рихмана и записать его математическое выражение, поясняя физическую сущность величин, входящих в уравнение Ньютона – Рихмана. Особое внимание следует обратить на сущность коэффициента теплообмена конвекцией, указать единицы его измерения. На конкретных примерах показать влияние данного вида теплообмена на развитие пожара.

Вопрос 7-10. Прежде чем приступить к ответу по указанным вопросам, необходимо разобраться с общими понятиями теории подобия и сущностью её применения в расчетах по конвективному теплообмену. В ответах следует отразить сущность и примеры данных случаев конвективного теплообмена, записать расчетные критериальные уравнения, пояснить физическую сущность входящих в них критериев, физических величин и их единицы измерения, изложить методику определения коэффициента теплообмена конвекцией (для газовых прослоек - эквивалентного коэффициента теплопроводности) и количества тепла, передаваемого в том или ином случае теплообмена. На конкретных примерах рассмотреть опасность конвективного теплообмена, а в данном случае и его влияние на развитие пожара.

Вопрос 11. Ответ на данный вопрос следует начать с формулировки лучистого теплообмена и пояснения сущности процессов преобразования тепловой энергии в лучистую и наоборот. Затем показать, как распределяется лучистая энергия, падающая на тело, и связать данный материал с понятием абсолютно черного, абсолютно белого и диатермичного тел; пояснить, для чего вводятся эти понятия.

Рассмотреть законы Вина, Планка, Стефана-Больцмана, Кирхгофа и Ламберта: формулировка, математическое выражение, физическая сущность и единицы измерения величин, входящих в выражение законов. При рассмотрении закона Кирхгофа необходимо изложить и его следствия. Показать влияние теплового излучения на развитие пожара, привести конкретные примеры. Особое внимание следует обратить на практическое использование законов лучистого теплообмена в расчетах и выводах при организации тушения пожаров.

Вопрос 12. В ответе на вопрос необходимо по очереди рассмотреть теплообмен между плоскопараллельными поверхностями, свободно ориентированными в пространстве и концентрически расположенными. Для этого, вычертив схему теплообмена между двумя поверхностями,

определить условия теплообмена, записать выражения для плотности теплового потока, излучаемого каждой поверхностью, показать, как получается расчетное уравнение результирующей плотности теплового потока, пояснить физический смысл входящих величин. Особое внимание следует обратить на сущность коэффициента облученности. Рассмотреть особенности теплообмена между высоконагретыми поверхностями и конструкциями из горючих материалов, дать понятие критической плотности теплового потока и предельно допустимой температуры нагрева, записать условия пожарной безопасности; рассмотреть типы задач пожарной безопасности и порядок их решения.

Вопрос 13. Начать ответ на вопрос следует с определения теплового экрана. Затем, после рассмотрения роли экранов в лучистом теплообмене, дать их классификацию. Пояснить назначения каждого из видов экранов, используемых в практике пожарного дела. Используя схему теплообмена при наличии экрана, вывести уравнение расчёта температуры отражающего экрана, пояснить физический смысл входящих в него величин. Вывести выражение для определения плотности теплового потока с учётом экрана. Привести выражение для определения необходимого количества экранирующих слоёв. Рассмотреть типы задач пожарной безопасности и последовательность их решения.

Вопрос 14. Излагая материал по данному вопросу, следует указать, какие газы представляют интерес с точки зрения излучения и поглощения тепловой энергии, показать, каким образом происходит процесс излучения и поглощения в ослабляющей среде в зависимости от длины волн, в чем особенности излучения и поглощения газов в отличие от твердых тел. Затем рассмотреть природу излучения газообразных продуктов горения, образующихся при горении различных веществ. Особое внимание следует уделить влиянию излучения продуктов горения на поведение строительных конструкций на пожаре, мерам защиты их и личного состава пожарных подразделений от воздействия лучистой тепловой энергии.

Вопрос 15. Ответ на вопрос необходимо начать с определения излучения факела. Показать природу излучения факела, после чего рассмотреть особенности факела при горении твёрдых веществ, жидкостей и газов. Рассмотреть излучение факела в топках печей и котлов, изложить излучение пламени через топочные отверстия.

Вопрос 16. При ответе на данный вопрос следует осветить особенности излучения факела пламени при наружных пожарах, основные направления в пожарно-профилактической работе по исключению возможности распространения горения на смежные здания и сооружения вследствие излучения, меры техники безопасности при работе пожарных подразделений. После этого следует изложить методику определения минимально безопасных расстояний между зданиями и сооружениями, а также особенности данной методики при определении параметров безопасной работы пожарных подразделений.

Вопрос 17-18. Ответы на вопросы следует начать с определения характера передачи тепла от нагретой среды к нагреваемой через разделяющую их стенку. При этом необходимо выполнить эскиз стенки с соответствующими обозначениями величин, температур среды и поверхностей стенки, изображением температурного поля на каждой стадии передачи тепла. Затем, записав уравнения теплообмена для каждой стадии, пояснить физический смысл входящих величин, указать единицы измерения и вывести уравнения теплопередачи. Поясняя физическую сущность величин, входящих в полученное уравнение, особое внимание следует обратить на понятия, математические выражения, единицы измерения термических сопротивлений теплообмена, полного термического сопротивления теплопередачи, коэффициента теплопередачи. Рассмотреть типы задач пожарной безопасности и последовательность их решения.

Вопрос 19. При ответе на данный вопрос прежде всего необходимо дать определение понятия «теплообменный аппарат» и «теплоноситель». Затем рассмотреть, как различаются теплообменные аппараты по назначению, принципу действия, конструкции, виду теплоносителя и схеме течения теплоносителей. Вычертив 2-3 схемы теплообменных аппаратов, наиболее часто встречающихся на объектах обслуживаемого района, изложить особенности пожарной опасности данных аппаратов. Затем рассмотреть методику конструкторского и поверочного расчета теплообменных аппаратов.

Вопрос 20. Ответ на данный вопрос следует начать с определения топлива. Привести классификацию топлив. Привести примеры твёрдого, жидкого и газообразного топлив и дать их характеристики. Рассмотреть элементарный состав топлива. Дать понятие теплоты сгорания.

2.4. Методические указания по решению задач

При выполнении задач следует придерживаться следующих указаний.

Общая методика решения задач:

1. Внимательно изучить условие задачи и переписать это условие.
2. Записать данные в столбик, под которым, предварительно подчеркнув его, записать, что требуется определить.
3. Все представленные величины перевести в систему СИ и записать их справа от данных, отчеркнув последние вертикальной чертой
4. Выполнить рисунки, эскизы или схемы к задачам (разрезы стенок, перегородок, плит перекрытия, противопожарных разделок печей и др. конструкций), выполнять в осях координат t - x . В соответствии с характером задачи выписать необходимые формулы и провести их анализ.
5. Приступить к решению задачи. При решении необходимо показать весь ход решения и математические преобразования. Промежуточные и конечные величины, полученные при решении, должны сопровождаться размерностями.
6. В случаях, когда задача связана прогревом каких-либо конструкций, на выполненных рисунках построить график изменения температурного поля с обозначением соответствующих температур.
7. Каждая задача должна сопровождаться развёрнутым ответом и соответствующими выводами.

Характерной особенностью задач по теплопередаче является то, что некоторые данные, необходимые для решения, в условиях не даны, и их требуется выбрать по соответствующим таблицам, приложениям или определять по графикам и номограммам.

Некоторые основные таблицы и графики приведены в приложении данного методического указания. В остальных случаях следует пользоваться таблицам и графиками, помещёнными в рекомендуемой литературе. При пользовании таблицами следует обратить внимание на единицы измерения, кратные и дольные множители условных обозначений величин, на запятые, определяющие порядок числовых значений.

Не следует упускать из виду то, что в большинстве задач (исключая задачи на лучистый теплообмен) удобнее использовать международную практическую шкалу.

Следует помнить требования ГОСТ, предъявляемые к некоторым техническим сооружениям. В частности, температура на необогреваемой стороне противопожарной стены не должна превышать $160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При решении задач на нестационарную теплопроводность предел огнестойкости выражается в часах. Эта размерность учитывалась при составлении таблицы значений функции Крампа, поэтому в формулу

определения коэффициента теплопроводности a_t вносится соответствующий коэффициент 3.6, переводящий коэффициент теплопроводности из Вт/(м·К) в Дж/(м·К·ч) и теплоёмкость из кДж/(кг·К) в Дж/(кг·К). С учётом этого коэффициента формула для расчёта коэффициента теплопроводности примет вид:

$$a_t = \frac{3.6 \cdot \lambda}{c_t \cdot \rho}, \text{ М}^2/\text{ч}$$

Следует также помнить, что при решении задач на нестационарную теплопроводность при стандартном температурном режиме все термодинамические параметры следует брать при температуре 450°С.

При выполнении задач (конвективный и сложный теплообмен) обратить внимание на различие в обозначении температуры среды (газы или жидкости) и температуры стенки. В критериальных уравнениях конвективного теплообмена индекс указывает, что f – параметры взяты при температуре среды, w – температуре стенки, m – средней температуре стенки и среды. В задачах на сложный теплообмен индекс f' обозначает греющую среду, а t'' - обогреваемую среду.

При расчёте критериев подобия необходимо чётко ориентироваться в определении *определяющий размер*. Не следует забывать, что в качестве определяющего размера используется для

- горизонтальных труб – диаметр трубы,
- вертикальных плит – высота стены,
- горизонтальных плит – размер меньшей стороны,
- для газовых прослоек – толщина прослойки.

При некоторых расчётах используется параметр – коэффициент объёмного расширения β . Необходимо помнить, что для газов этот параметр рассчитывается по уравнению $\beta = 1/T$, а для жидкостей по таблицам.

В задачах на лучистый теплообмен слушатели-заочники должны тщательно разобраться в основных законах лучистого теплообмена, особенностях теплообмена между излучающими поверхностями и горючими материалами. Особое внимание необходимо обратить на понятия критической плотности облучения, допустимую температуру нагрева и температуру воспламенения горючих материалов. При решении задач на определение эффективности применения экрана и на расчёт минимально-безопасных расстояний необходимо основываться на условиях пожарной безопасности:

- температура экрана не должна превышать предельно допустимую температуру экрана,
- плотность теплового потока, падающего на поверхность горючего материала с учётом коэффициента безопасности, не должна превышать критической плотности теплового потока.

Примеры основных типов задач приведены ниже.

Пример 1.

Какова должна быть толщина противопожарной стены из бетона, если температура обогреваемой поверхности 450°C , температура необогреваемой поверхности 160°C . Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ср.}} = 1,05 - 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{ср.}}$, а плотность теплового потока 1000 Вт/м^2

Дано:

$$t_1 = 450^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 180^{\circ}\text{C}$$

$$q = 1000 \text{ Вт/м}^2$$

$$\lambda_{\text{ср.}} = 1,05 - 5,8 \cdot 10^{-4}$$

$$\cdot t_{\text{ср.}} \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$\delta = ?$$

Решение:

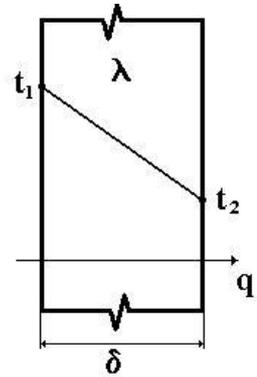
$$1. t_{\text{ср.}} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad t_{\text{ср.}} = \frac{450 + 160}{2} = 305 \text{ C}$$

$$2. \lambda_{\text{ср.}} = 1,05 - 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot 305 = 0,87 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

3. Из уравнения теплопроводности

$$\text{для плоских стенок } \delta = \frac{\lambda_{\text{ср.}} (t_1 - t_2)}{q}$$

$$\delta = \frac{0,87}{1000} (450 - 160) = 0,25 \text{ м}$$



Ответ: толщина противопожарной стены бетона $0,28 \text{ м}$.

Пример 2

Противопожарная закрытая отступка имеет толщину 13 см . Определить плотность теплового потока от поверхности печи к горючей поверхности в конвективном теплообмене при условии, если температура поверхности печи $t_{w1} = 90^{\circ}\text{C}$, температура горючей поверхности $t_{w2} = 30^{\circ}\text{C}$.

Дано:

$$t_{w1} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$t_{w2} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 13 \text{ см} = 0,13 \text{ м}$$

$$q = ?$$

Решение:

Определяем среднюю температуру

воздуха в отступке и находим

физические параметры воздуха при

этой температуре

$$t_{\text{ср.}} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} \quad t_{\text{ср.}} = \frac{90 + 30}{2} = 60 \text{ C}$$

$$\lambda_{\text{ср.}} = 2,89 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$\nu_{\text{ср.}} = 18,97 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\text{Pr}_{\text{ср.}} = 0,695$$

$$q = \lambda_{\text{экр.}} \frac{t_{w1} + t_{w2}}{\delta} \quad \lambda_{\text{экр.}} = \lambda \cdot \varepsilon_{\text{к}},$$

где $\varepsilon_{\text{к}}$ – коэффициент конвекции, зависящий от произведения Gr и Pr . Находим произведение Gr и Pr и коэффициента конвекции

$$\text{Gr} = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \Delta t$$

$$\beta = 1/T_{\text{ср.}},$$

где β – коэффициент объёмного расширения.

g – ускорение свободного падения.

l = определяющий размер.

ν - кинематическая вязкость.

$$Gr = \frac{1}{273 + 60} \frac{9,81 \cdot 0,13^3}{(18,97 \cdot 10^{-6})^2} (90 - 30) = 1,079 \cdot 10^7$$

$$Gr \cdot Pr = 1,079 \cdot 10^7 \cdot 0,695 = 7,5 \cdot 10^6$$

$$\varepsilon_K = 0,4 (Gr \cdot Pr)_m^{0,2}$$

$$\varepsilon_K = 0,4 (7,5 \cdot 10^6)^{0,2} = 9,5$$

$$\lambda_{\text{ЭКВ.}} = 2,89 \cdot 10^{-2} \cdot 9,5 = 27,4 \cdot 10^{-2} \text{ (Вт/(м} \cdot \text{°C))}$$

$$q = \frac{27,4 \cdot 10^{-2}}{\text{Вт/м}^2 \cdot 0,13} = 126,2$$

Ответ: плотность теплового потока от поверхности печи к горючей поверхности в конвективном теплообмене $126,2 \text{ Вт/м}^2$.

Пример 3.

Определить коэффициент теплообмена и плотность теплового потока в лучистом теплообмене между дымовыми газами и стенками дымохода, если в дымовых газах содержится 13% CO_2 и 11% H_2O . Сечение дымохода $a \times b = 25 \times 12,5 \text{ см}$, высота $h = 3 \text{ м}$. Температуры дымовых газов и поверхности стенки соответственно равны 700°C и 680°C .

Дано:

$$t_f = 680^\circ\text{C}$$

$$t_w = 700^\circ\text{C}$$

$$a = 25 \text{ см}$$

$$b = 12,5 \text{ см}$$

$$h = 3 \text{ м}$$

$$13\% \text{ CO}_2$$

$$11\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$\alpha = ? \quad q = ?$$

Решение:

1. Определяем степень черноты газа.

Степень черноты газа зависит от его состава, температуры и объема, который занимает газ. Для продуктов сгорания энергетических топлив степень черноты газа рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{CO}_2}^* + \beta \cdot \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}^*$$

где $\varepsilon_{\text{CO}_2}$ – степень черноты углекислого газа;

$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}^*$ – степень черноты водяного пара;

β – условная степень черноты водяного пара;

– поправочный коэффициент, учитывающий особенности излучения водяного пара.

$$\varepsilon, \beta = f(p_i \cdot S_{\text{эф}}, T_g),$$

где p_i – парциальное давление i – го газа, кПа;

T_g – температура газа, $^\circ\text{C}$ (К);

$S_{эф}$ – эффективная длина пути луча, м.

Для газового объема произвольной формы эффективную длину пути луча рассчитывают по формуле:

$$S_{эф} = 3,4 \cdot \frac{V}{F_2}$$

где V – объем, занимаемый газом, m^3 ; F_2 – площадь оболочки, в которую заключен газ, m^2 .

$\epsilon_{CO_2} = f(p_{H_2O} \cdot S_{эф}, p_{H_2O})$ и $\epsilon_{H_2O} = f(p_i \cdot S_{эф}, T_2)$ определяем по номограммам приложений 10, 11 и 12.

$$S_{эф} = 3,4 \cdot a \cdot b \cdot h / (2 \cdot (a \cdot h + b \cdot h)) = 3,6 \cdot 0,25 \cdot 0,125 \cdot 3 / (2 \cdot (0,125 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3)) = 0,14 \text{ м.}$$

При $p_{CO_2} \cdot S_{эф} = 0,13 \cdot 0,14 = 0,018 \text{ м} \cdot \text{Бар}$ и $t_2 = 700^\circ\text{C}$ находим $\epsilon_{CO_2} = 0,055$.

При $p_{H_2O} \cdot S_{эф} = 0,11 \cdot 0,14 = 0,0154 \text{ м} \cdot \text{Бар}$ и $t_2 = 700^\circ\text{C}$ находим $\epsilon_{H_2O} = 0,025$ и $\beta = 1,09$.

Степень черноты газа:

$$\epsilon_g = 0,055 + 1,09 \cdot 0,025 = 0,082.$$

Принимаем материал дымового канала – красный кирпич со степенью черноты $\epsilon_w = 0,9$.

Поглощательная способность CO_2 :

$$A_{CO_2} = \epsilon_{CO_2} \left[\frac{t}{f} \right]^{0,65} \left(\frac{700}{680} \right)^{0,65}$$

Поглощательная способность дымовых газов:

$$A_f = A_{CO_2} + \beta \epsilon_{H_2O} = 0,056 + 1,09 \cdot 0,025 = 0,083.$$

Эффективная степень черноты стенки:

$$w' = \frac{w + 1}{2} = \frac{0,9 + 1}{2} = 0,95.$$

2. Плотность теплового потока:

$$q = C_{w0} \left[\left(\frac{t}{f} \right)^4 - A_f \left(\frac{t}{w} \right)^4 \right] = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\left(\frac{700}{100} \right)^4 - 0,083 \left(\frac{680}{100} \right)^4 \right] = 107 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

3. Коэффициент теплоотдачи.

$$\alpha = q/(t_f - t_w) = 107/(700 - 680) = 5,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Ответ: коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока в лучистом теплообмене между дымовыми газами и стенками дымохода соответственно равны 5,35 Вт/(м²К) и 107 Вт/м².

Пример 4.

Дать заключение о достаточности минимально – безопасного расстояния между двумя деревянными домами, если коэффициент безопасности равен 1.2. Длина дома 4 м, высота до конька 3м, величина минимально-безопасного расстояния 4 метра.

Дано:

Решение:

A = 4м

По соответствующим приложениям находим:

H = 3м

$T_{\text{ф}} = 1100\text{К}, \varepsilon_{\text{ф}} = 0.7, \varepsilon_{\text{д}} = 0.8, T_{\text{доп}} = 568\text{К}$

$K_{\text{б}} = 1.2$

$q_{\text{кр}} = 12800 \text{ Вт}/\text{м}^2$

L = ?

Находим коэффициент облучённости

$$\Psi_{\text{ф-д}} = \frac{q_{\text{кр}}}{K_{\text{б}} \cdot \varepsilon_{\text{ф-д}} \cdot C_0 \left[\frac{T_1^4}{100} - \frac{T_2^4}{100} \right]}$$

Приведённую степень черноты находим как

$\varepsilon_{\text{ф-д}}$

$$\varepsilon_{\text{ф-д}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{ф}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{д}}} - 1}$$

$$\varepsilon_{\text{ф-д}} = \frac{1}{\frac{1}{0.7} + \frac{1}{0.9} - 1} = 0.6$$

$\Psi_{\text{ф-д}}$

$$\Psi_{\text{ф-д}} = \frac{12800}{1.2 \cdot 0.6 \cdot 5.67 \left[\frac{(1200)^4}{100} - \frac{(568)^4}{100} \right]} = 0.23$$

Находим четвертинку коэффициента облучённости

$\Psi'_{\text{ф-д}} = 0.25 \cdot \Psi_{\text{ф-д}}$

$\Psi'_{\text{ф-д}} = 0.25 \cdot 0.23 = 0.0575$

Находим размеры факела

h=B

Т.к длина четверти пламени равна $a = \frac{1}{2} A$ т.е $a = \frac{1}{2} 4 = 2$ м, а высота четверти пламени равна $b = \frac{1}{2} H$ т.е. $b = \frac{1}{2} 3 = 1.5$ м.

$$b/a = 1.5/2 = 0.75; b/l = \frac{1}{2} b/a = \frac{1}{2} 0.75 = 0.375$$

По номограмме находим a/l . $a/l = 0.75$

$$l = a/0.75 = 2/0.75 = 2.6\text{м}$$

Ответ: расстояние между домами не должно быть менее 2.6м.

Минимально-безопасного расстояния в 4 метра достаточно.

Пример 5.

Определить требуемую толщину бетонной стены, если коэффициент теплопроводности бетона равен 0,84 Вт/(м·К); температура нагреваемой среды равна 20°C, температура на необогреваемой поверхности стены не должна превышать 160 °С, температура нагретой среды при возможном пожаре равна 1100°C.

Дано:

$$t_f = 1100^\circ\text{C}$$

$$t_{f''} = 20^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 0,84 \text{ Вт/(м·К)}$$

$$t_2 = 160^\circ\text{C}$$

Решение:

1. Определяем коэффициент теплоотдачи греющей среды

$$\alpha_1 = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot t_f}$$

$\delta = ?$. Определяет коэффициент теплоотдачи обогреваемой среды

$$\alpha_2 = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot t_2}$$

3. Находим плотность теплового потока из выражения

$$q = \alpha_2(t_2 - t_{f''})$$

4. Из выражения $q = k(t_f - t_{f''})$ определяем коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{q}{t_f - t_{f''}}$$

5. Из выражения $\delta = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$ находим необходимую толщину стены+

$$\delta = \frac{1}{\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}$$

$$1. \alpha_1 = 11,63 \cdot e^{0,0023 \times 1100} = 146 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$2. \alpha_2 = 11,63 \cdot e^{0,0023 \times 160} = 16,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$3. q = 16,8(160-20) = 2352 \text{ Вт}$$

$$4. k = 2352/(1100-20) = 2,17 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$5. \delta = 0,84(1/2,17 - 1/146 - 1/16,8) = 0,33 \text{ м}$$

Ответ: толщина бетонной стены должна быть не менее 0,33 м.

Пример 6.

Определить предел огнестойкости перегородки из бетона на известняковом щебне, считая её полуограниченным телом, подвергающейся одностороннему нагреву в условиях стандартного температурного режима, если начальная температура конструкции 20°C , температура на необогреваемой стороне не должна превышать 160°C , толщина перегородки 0.12 м .

Дано:

$$t_{x,\tau} = 160^{\circ}\text{C}$$

$$t_0 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 0,12\text{ м}$$

$$\tau = ?$$

Решение:

1. Определяем физические параметры бетона на гранитном щебне при температуре 450°C по приложению

$$1 (\rho, c_t, \lambda)$$

2. Находим коэффициент температуропроводности

$$a_t = \frac{3,6 \cdot \lambda}{\rho \cdot c_t}$$

3. Находим функцию Крампа по следующему выражению

$$\text{erf}(A) = \frac{1250 - t}{1250 - t_0} \cdot x$$

4. По приложению 1 определяем аргумент функции Крампа

5. Из выражения для расчёта аргумента функции Крампа находим предел огнестойкости, учитывая что $\delta = x$

$$= \frac{\left(60^{1,062} + \frac{x}{\sqrt{a_t}} \right)^2}{4A^2}$$

1. Физические параметры бетона на известняковом

$$\text{щебне } \rho = 2190 \text{ кг/м}^3$$

$$\lambda = 1,25 - 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot t = 1,25 - 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 450 = 0,818 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

$$c_t = 0,77 + 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot t = 0,77 + 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot 450 = 1,04 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$$

2. Коэффициент температуропроводности

$$a_t = \frac{3,6 \cdot 0,818}{2190 \cdot 1,054} = 0,00127 \text{ м}^2 / \text{с}$$

3. Функция Крампа

$$\text{erf}(A) = \frac{1250 - 160}{1250 - 20} = 0,88$$

4. Аргумент функции

$$\text{Крампа } A = 1,11$$

5. Предел огнестойкости

$$= \frac{60 \cdot \left(0,62 + \frac{0,12}{\sqrt{0,00127}} \right)}{4 \cdot 1,1^2} = 34,8 \text{ \u0438\u0438}$$

Ответ: предел огнестойкости 34,8 минуты.

Пример 7

Подобрать эффективную теплоизоляцию паропровода, диаметр которого 100 мм. Температура на наружной поверхности изолятора не должна превышать 40\u00b0C.

Дано:

$$t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$d_2 = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$$

$$\lambda = ?$$

$$\text{Вт/м}^2$$

Решение.

1. Эффективность теплоизоляции обеспечивается при условии, что критический диаметр изоляции $d_2 \geq d_{\text{кр. из.}}$.

Следовательно, в предельном случае $d_{\text{кр. из.}} = 0,1 \text{ мм}$.

2. Коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции определяется из условия

$$d_{\text{кр. из.}} \geq \frac{2}{\lambda_{\text{из.}}}, \text{ откуда имеем } \lambda_{\text{из.}} \leq \frac{2}{d_{\text{кр. из.}}}$$

2.2 Коэффициент теплоотдачи

находим как

$$\lambda = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot t_2} \quad \lambda = 11,63 \cdot e^{0,0023 \cdot 40} = 12,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\lambda_{\text{из.}} \leq \frac{0,1 \cdot 12,75}{2} = 0,637 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Ответ: по соответствующим приложениям находим, что в качестве теплоизоляционного материала можно использовать асбестовые картон, ткань, шнур, асбоцементные скорлупы, стекловату, войлок и т.д.

Приложения

Приложение 1

Значение функции Крампа (интеграл ошибок Гауса)

A	erf(A)	A	erf(A)	A	erf(A)	A	erf(A)
0,00	0,0000	0,50	0,5205	1,00	0,8427	1,50	0,9661
0,02	0,0216	0,52	0,5379	1,02	0,8508	1,52	0,9684
0,04	0,0451	0,54	0,5549	1,04	0,8586	1,54	0,9706
0,06	0,0676	0,56	0,5716	1,06	0,8661	1,56	0,9726
0,08	0,0901	0,58	0,5879	1,08	0,8733	1,58	0,9745
0,10	0,1125	0,60	0,6039	1,10	0,8802	1,60	0,9763
0,22	0,1348	0,62	0,6194	1,22	0,8868	1,62	0,9780
0,14	0,1569	0,64	0,6346	1,14	0,8931	1,64	0,9796
0,16	0,1719	0,66	0,6494	1,16	0,8991	1,66	0,9811
0,18	0,2009	0,68	0,6638	1,18	0,9048	1,68	0,9826
0,20	0,2227	0,70	0,6778	1,20	0,9103	1,70	0,9838
0,22	0,2443	0,72	0,6914	1,22	0,9155	1,72	0,9850
0,24	0,2657	0,74	0,7047	1,24	0,9205	1,74	0,9861
0,26	0,2869	0,76	0,7175	1,26	0,9252	1,76	0,9872
0,28	0,3079	0,78	0,7300	1,28	0,9297	1,78	0,9882
0,30	0,3286	0,80	0,7421	1,30	0,9340	1,80	0,9892
0,32	0,3491	0,82	0,7538	1,32	0,9381	1,90	0,9928
0,34	0,3694	0,84	0,7651	1,34	0,9419	2,00	0,9953
0,36	0,3893	0,86	0,7761	1,36	0,9456	2,10	0,9970
0,38	0,4090	0,88	0,7867	1,38	0,9460	2,20	0,9981
0,40	0,4284	0,90	0,7969	1,40	0,9523	2,30	0,9989
0,42	0,4475	0,92	0,8068	1,42	0,9554	2,40	0,9993
0,44	0,4662	0,94	0,8163	1,44	0,9583	2,50	0,9996
0,46	0,4847	0,96	0,8254	1,46	0,9611	5,6	0,9998
0,48	0,5027	0,98	0,8312	1,48	0,9638	2,7	0,9999

Физические параметры некоторых веществ и материалов

Вещество или материал:	t, °C	ρ , кг / м ³	λ , Вт / (м К)	C_p , кДж/(кг К)
Алюминий	0	2700	210	0,87
	100	2690	205	0,94
	300	2650	230	1,04
	600	2550	280	1,14
Дюралюминий	0	--	160	--
	20	2800	166	0,88
	100	--	182	--
	200	--	195	--
Железо	-200	7960	78,5	0,46
	20	7870	67,5	0,452
	200	7800	61,2	0,482
	600	7600	43,8	0,577
	900	7500	40	0,665
Латунь	0	--	106	--
	20	8520	108	0,385
	100	--	110	--
	300	--	114	--
	600	--	121	--
Медь	-190	9000	488	0,257
	20	8930	396	0,379
	100	8900	392	0,397
	600	8700	345	0,456
	1083	8510	321	0,532
Олово чистое	20	7300	64	0,226
Серебро	20	10500	410	0,25
Свинец	20	11400	34,6	0,13
Сталь углеродистая, 1%	0-800	7800 - 7400	$58 - 0,042 \cdot t$	$0,47 + 2,1 \cdot 10^{-4} t + 5 \cdot 10^{-7} \cdot t^2$
Сплав инвар	20	8130	10,7	0,46
Сплав эвтектический	0	1050	13,1	0,13
	100	--	14	--
Чугун	20	7270	52	0,42
Аглоперлитобетон	Более 100	480	$0,7 + 0,7 \cdot 10^{-5} \cdot t$	$0,87 + 5,9 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Бетон на гранитном щебне	То же	2220	$1,42 - 11 \cdot 10^{-4} \cdot t$	$0,77 + 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Бетон на известковом щебне	--	2190	$1,25 - 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot t$	$0,77 + 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot t$
Бетон песчаный	--	1900	$1,05 - 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot t$	$0,77 + 6,3 \cdot 10^{-4} \cdot t$

Продолжение приложения 2

Вещество или материал:	t, °C	ρ, кг \ м ³	λ, Вт / (м К)	С _p , кДж/(кг К)
Газобетон на молотом песке	Более 100	480	0.093+7·10 ⁻⁵ ·t	0.92+6.3·10 ⁻⁴ ·t
	100	750	0.186+8.1·10 ⁻⁵ ·t	0.92+6.3·10 ⁻⁴ ·t
	То же			
Керамзитобетон	--	950	0.23+13.3·10 ⁻⁵ ·t	0.84+5.8·10 ⁻⁴ ·t
	--	1030	·t	0.84+3.9·10 ⁻⁴ ·t
	--	1380	0.256+7.5·10 ⁻⁵ ·t	0.92+6.3·10 ⁻⁴ ·t
Кирпич красный	--	1580	0.455+2.32·10 ⁻⁴ ·t	0.84+4.2·10 ⁻⁴ ·t
	--			
	--			
Кирпич силикатный	Более 100	1730	0.79+3.5·10 ⁻⁴ ·t	0.84+6.3·10 ⁻⁴ ·t
Перлитобетон	То же	1090	0.29+1.16·10 ⁻⁴ ·t	0.84+5.8·10 ⁻⁴ ·t
Песок сухой	0-40	1380	0.35	0.8
Песок влажный	0-40	1380	0.66	2
Стекло обыкновенное	20-80	2500	0.75+0.00116t	0.67
Шту катурка обыкн-ая	20	1800	1-1.5	0.84
Штукатурка известковая	0	1600	0.7	0.84
Жароупорный газобетон	600	680	0.43	--
Жароупорный пенобетон	--	500	0.192	--
	Марка 500	200	0.215	--
	Марка 600			
Жаростойкий шлаковатобетон	100	500-1000	0.116-0.232	--
Вещество или материал:	t, °C	ρ, кг \ м ³	λ, Вт / (м К)	С _p , кДж/(кг К)
Кирпич диасовый	--	1900-1950	0.93+7·10 ⁻⁴ ·t	0.835+2.5·10 ⁻⁵ ·t
Кирпич шамотный	--	1800-1900	0.835+5.8·10 ⁻⁴ ·t	0.88+2.3·10 ⁻⁴ ·t
пеношамот	--	950	0.28+2.32·10 ⁻⁴ ·t	--
	--	600	0.105+1.45·10 ⁻⁴ ·t	--

Продолжение приложения 2

Вещество или материал:	t, °C	ρ, кг \ м ³	λ, Вт / (м К)	Ср, кДж/(кг К)
Диатомит молотый	--	400-500	$0.091+2.8 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Альфоль гофрированный	0-550	200	$0.0595+2.56 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Асбестовый картон	0-600	1000-1300	$0.157+1.86 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Асбестовая ткань	0-500	600-700	$0.123+1.86 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Асбестовый шнур	0-200	700-900	$0.14+2.32 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Асбоцементные сегменты, плиты и скорлупы	0-450	400	$0.087+1.28 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Вата стеклянная	0-450	130	$0.04+3.5 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Вата хлопковая	20	50	0.058	--
Вермикулитовые плиты	0-600	250	$0.081+2.32 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Войлок шерстяной	0-90	300	$0.0465+1.98 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Грунт глинистый	20	2100	1.4	--
Дерево при потоке тепла				
поперек волокон	20	500-600	0.163-0.174	2.8
вдоль волокон	20	500-600	0.44-0.52	2.8
Древесные опилки	20	150-250	0.07-0.093	--
Древесно-стружечные огнестойкие опилки	0-100	700-800	0.105-0.174	--
Кожа	20	--	0.14-0.163	--
Котельная накипь с:				
гипсом	100	2000-	0.7-2.3	--
известью	100	2700	0.15-2.3	--
силикатами	100	1000-2500 300-1200	0.081-0.232	--
Льняная ткань	20	--	0.088	--
Лед	0	920	2.23	--
Минеральная вата засып. марки 100	0-600	200	$0.049+1.84 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Пенополиуретан	20	230-260	0.0365-0.0558	--

Окончание приложения 2

Вещество или материал:	t, °С	ρ, кг \ м ³	λ, Вт / (м К)	Ср, кДж/(кг К)
Пенопласт плиточный	20	70-220	0.058	--
Полиэтилен	20	950	0.29	--
Полистирол	20	1100	0.16	--
Пробковые плиты	20	150-200	0.041-0.054	1.75
Резина: пористая техническая	20	160-400	0.05	--
	20	1500-1600	0.146	1.58
Совелит	0-500	500	$0.104+8.9 \cdot 10^{-5} \cdot t$	--
Снег: свежий уплотненный	0	200	0.105	208
	0	400	0.465	20.8
Сукно	20	250	0.0524	--
Ткань асбестостеклянная	0-500	1,2 кг/м ²	$0.123+1.86 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Голь	20	500-600	0.175-0.23	--
Торфоплиты для холодильников	0-100	425	$0.069+1.16 \cdot 10^{-4} \cdot t$	--
Текстолит	20	1300-1400	0.23-0.34	1.46-1.5
Фанера берёзовая клееная	20	800	0.175	--
Шлак котельной	--	700-1000	$0.204+2 \cdot 10^{-4} \cdot t$	0.75
Шелк	0-93	100	0.043-0.058	--
Шерсть очищенная	20	40	0.043	--

Предельно-допустимая температура нагрева, температура самовоспламенения и критическая плотность облучения некоторых горючих материалов

Материал	ДТП, К	Температура самовоспламенения, К	Q _{кр.} , Вт/м ²
Войлок строительный	353	643 (тление)	-
Гранитоль	313	438	-
Ледерин, дермантин	313	-	-
Торф:			
кусковой	353	498	9800
брикетный	353	498	13300
Древесина сосновая:			
шероховатая	353	568	12800
окрашенная масляной краской	353	568	17500
всех сортов (кроме сосны)	373	-	-
Картон серый	373	700	10800
Стеклопластик на основе полиэфирной смолы ПН-1	373	-	15400
Фанера, камышит, пенопласт ПС-4 и ПС-7, минеральные плиты на битумном связующем	393	-	-
Хлопок-волокно	393	473	7500
Пластик слоистый (типа гитенакс)	393	753	15400
Пергамин	393	-	17500
Резина	-	-	14500
Горючие газы и огнеопасные жидкости	-	423	8900
	-	573	12100
	-	623	15500
	-	673	19900
	-	773 и выше	28000

При определении безопасных расстояний от нагретых поверхностей печей и другого оборудования принимается допустимая температура применения (ДТП) или (если материал самовозгорается) самонагревания, а при определении наименьших расстояний между зданиями и сооружениями и безопасных условий работы пожарных подразделений – температура самовоспламенения материала.

Степень черноты при сгорании некоторых горючих веществ

Пламя (вид горючего материала):	Степень черноты ε
Несветящегося газового фонтана	0.3
Несветящегося газового и антрацита при слоевом сжигании	0.4
Светящееся:	
антрацитовый пыли	0.45
тощих углей	0.6
мазута	0.85
бензина	0.96-99
каменных углей, бурых углей, древесины, торфа	0.7

Температура пламени при горении некоторых горючих материалов

Горючий материал	Температура пламени, К
Бензин в резервуарах	1473
Газонефтяной фонтан	1127-1357
Древесина	1047-1147
Древесина в штабелях пиломатериалов	1127-1317
Дизельное топливо и нефть в резервуарах	1373
Диэтиловый эфир	1207
Калий металлический	727
Каучук	1247
Керосин тракторный в резервуарах	1373
Мазут в резервуарах	1273
Натрий металлический	827-927
Нефть и нефтепродукты в резервуарах	1107-1207
Резинотехнические изделия	1473
Стеариновая свеча	727-937
Торф	1027-1067
Целлулоид	1347-1547
Этиловый спирт	1147-1177

Степень черноты полного излучения некоторых веществ и материалов

Материал и характер поверхности	T, K	ϵ
Алюминий полированный	498	0.09-0.057
Асбестовые:		
бумага	313-643	0.93-0.95
картон	297	0.96
шифер	293	0.96
Бумага	293	0.8-0.9
Дерево строганное	293	0.8-0.9
Вода	273-373	0.95-0.96
Кирпич:		
красный шероховатый	293	0.93
шамотный глазурованный	1273	0.75
Латунь полированная	518-648	0.028-0.031
Медь полированная	388	0.023
Сталь:		
полированная	1043-1313	0.52-0.56
листовая:		
блестящая и оцинкованная	301	
шлифованная	1213-1373	0.52-0.61
Стекло гладкое	295	0.94
Толь кровельная	293	0.93
Штукатурка известковая шероховатая	283363	0.91

Физические параметры сухого воздуха

P = 101325 Па

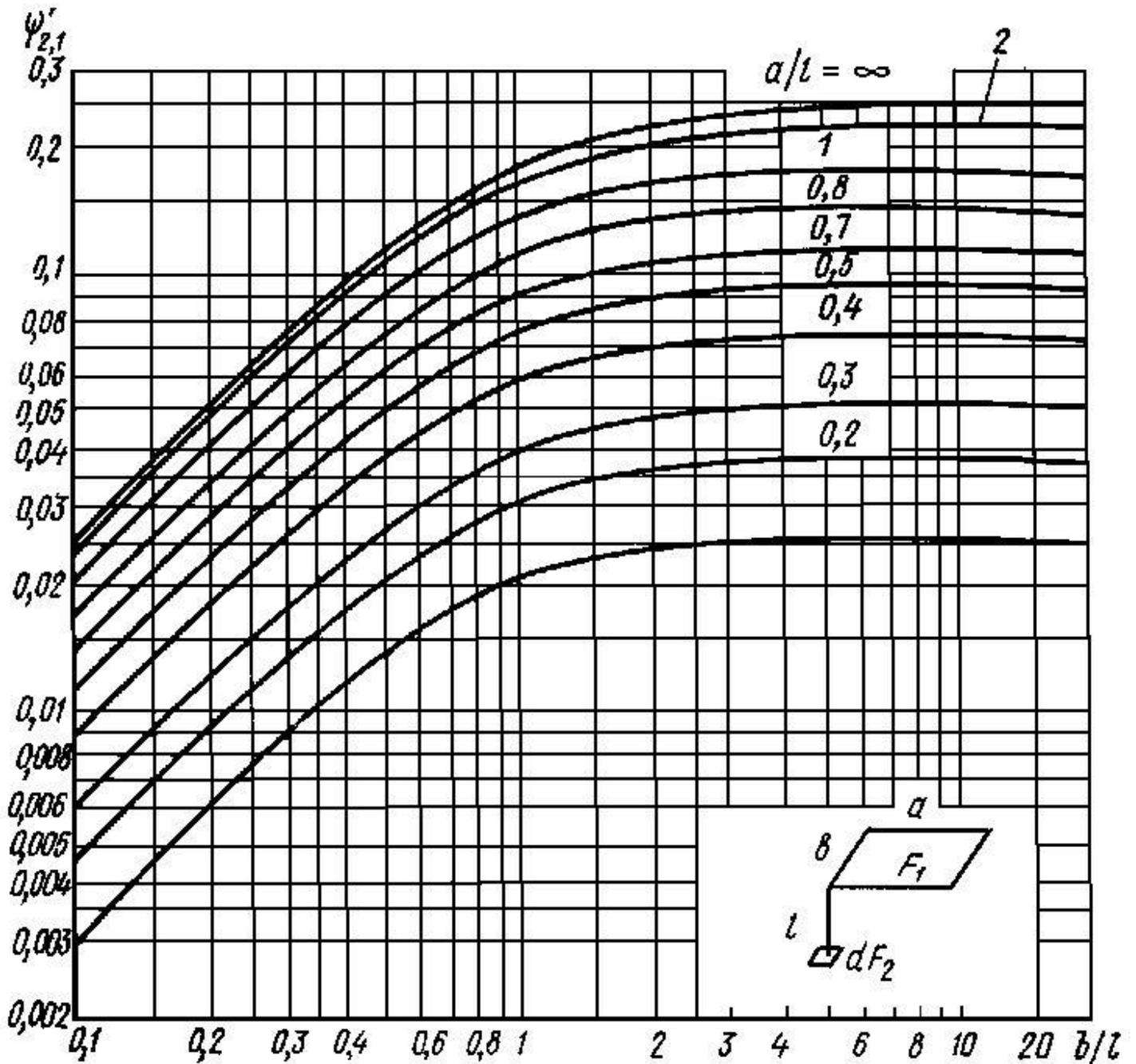
t, °C	ρ , кг/м ³	C _p , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /сек	Pr
-50	1.584	1.013	2.03	9.23	0.728
-40	1.515	1.013	2.11	10.04	0.728
30	1.453	1.013	2.19	10.80	0.723
-20	1.395	1.009	2.23	12.79	0.716
-10	1.342	1.005	2.36	12.43	0.712
0	1.293	1.005	2.44	13.28	0.707
10	1.247	1.005	2.51	14.16	0.705
20	1.205	1.005	2.59	15.06	0.703
30	1.165	1.005	2.67	16.00	0.701
40	1.128	1.005	2.75	16.96	0.699
50	1.093	1.005	2.82	17.95	0.698
60	1.060	1.005	2.89	18.97	0.696
70	1.029	1.009	2.96	20.02	0.694
80	1.000	1.009	3.04	21.09	0.692
90	0.972	1.009	3.12	22.10	0.690
100	0.946	1.009	3.20	23.13	0.688
120	0.898	1.009	3.33	25.45	0.686
140	0.854	1.013	3.48	27.80	0.684
160	0.815	1.017	3.63	30.09	0.682
180	0.779	1.022	3.77	32.49	0.681
200	0.746	1.026	3.92	34.85	0.680
250	0.674	1.038	4.26	40.61	0.677
300	0.615	1.047	4.60	48.33	0.674
350	0.566	1.059	4.89	55.46	0.676
400	0.524	1.068	5.20	63.09	0.678
500	0.456	1.093	5.73	79.38	0.687
600	0.404	1.114	6.20	96.89	0.699
700	0.362	1.135	6.69	115.4	0.706
800	0.329	1.156	7.15	134.8	0.713
900	0.301	1.172	7.61	155.1	0.717
1000	0.277	1.185	8.05	177.1	0.719
1100	0.257	1.197	8.48	199.3	0.722
1200	0.239	1.210	9.12	223.7	0.724

Физические параметры дымовых газов

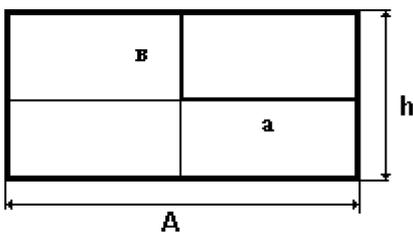
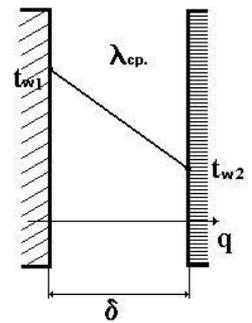
P = 101325 Па

t, °C	ρ , кг/м ³	C _p , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /сек	Pr
0	0.1295	1.043	2.28	12.20	0.72
100	0.950	1.068	3.12	21.54	0.69
200	0.748	1.097	4.00	32.80	0.67
300	0.617	1.122	4.83	45.81	0.65
400	0.525	1.151	5.68	60.38	0.64
500	0.457	1.185	6.54	76.30	0.63
600	0.404	1.214	7.40	93.61	0.62
700	0.363	1.239	8.25	112.1	0.61
800	0.330	1.264	9.13	131.8	0.60
900	0.301	1.290	9.98	152.5	0.59
1000	0.275	1.306	10.90	173.4	0.58
1100	0.257	1.323	11.75	197.1	0.57
1200	0.240	1.340	12.62	221.0	0.56

Номограмма для определения минимально безопасного расстояния

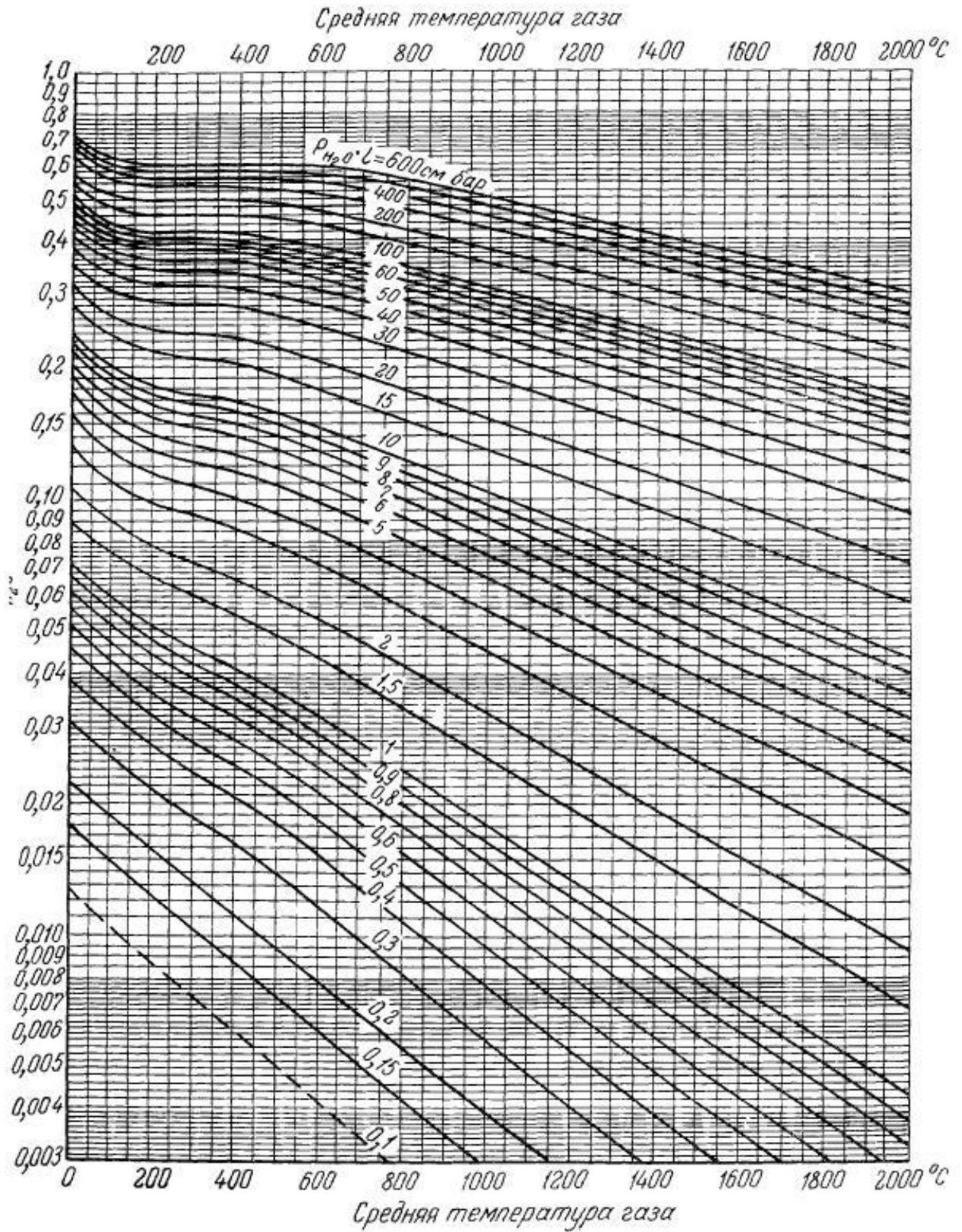


Зависимость степени черноты CO_2 от произведения парциального давления на длину пути луча и температуры

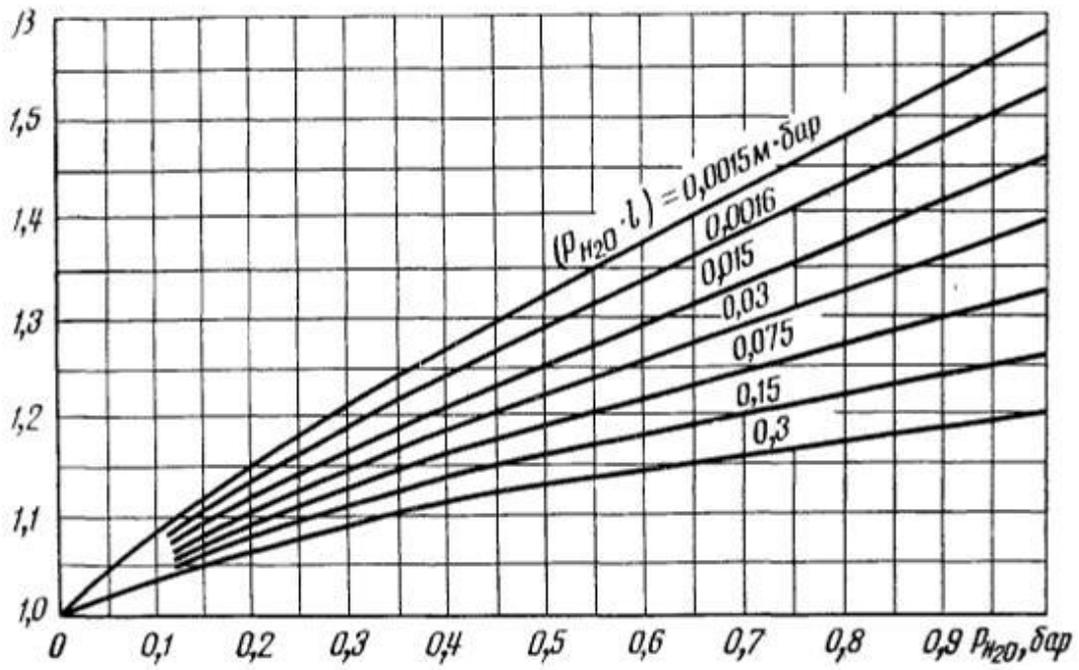


Приложение 11

Зависимость степени черноты H_2O от произведения парциального давления на длину пути луча и температуры



Приложение 12
Поправка β на взаимное поглощение CO_2 и H_2O



Список рекомендуемой литературы

1. Кошмаров, Ю.А., Теплотехника. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 501 с.: ил.
2. Ерофеев, В.Л., Теплотехника: учебник для вузов. / Ерофеев В.Л., Семёнов П.Д., Пряхин А.С. - М., ИКЧ «Академкнига», 2006. – 456с.
3. Сырбу, А.А. Теплопередача. Учебное пособие. / Сырбу А.А., Сторонкина О.Е. – Иваново: ООНИ ИВИ ГПС МЧС России, 2012. – 114 с.
4. Ульев, Д.А. Теплофизика: лучистый теплообмен. Учебное пособие / Ульев Д.А., Назаров Г.Е., Маршалов М.С. – Иваново: ООНИ ИВИ ГПС МЧС России, 2013.– 67с.
5. Федеральный закон от 22.07.08 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в редакции Федерального закона от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности») – URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 21.08.2013).

