

5. Расчет процессов конвективного теплообмена

5.1 Расчет процессов конвективного теплообмена в однофазной среде

19. На реальной теплотехнической установке происходит процесс теплоотдачи при вынужденном движении потока воздуха в трубе круглого сечения диаметром D , средняя температура воздуха t_v , расход воздуха $M_v = 10$ кг/с. Для экспериментального изучения теплоотдачи была создана модель, в которой движется жидкость, имеющая коэффициент температуропроводности

$a_m = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Какова должна быть скорость жидкости w_m и кинематический коэффициент вязкости ν_m для обеспечения подобия процессов теплообмена, если геометрические размеры модели в 5 раз меньше размеров образца?

20. Сравнить коэффициенты теплоотдачи от стенки трубы к воздуху: при движении его внутри длинной трубы внутренним диаметром $d_{\text{в}} = 60$ мм и при внешнем поперечном обтекании одиночной трубы наружным диаметром $d_{\text{н}} = 50$ мм. Средняя температура воздуха и скорость движения воздуха в обоих случаях одинаковы и равны: t_v и w_v .

21. В теплообменном аппарате шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком трансформаторного масла. Наружный диаметр труб $d_{\text{н}} = 24$ мм, поперечный шаг труб в пучке $s_1 = 2d_{\text{н}}$, продольный – $s_2 = 1,5d_{\text{н}}$. Средняя скорость в узком сечении пучка и средняя температура масла соответственно равны w и t_m . Определить коэффициент теплоотдачи от трансформаторного масла к поверхности труб для третьего ряда пучка, если температура поверхности труб $t_{\text{ст}} = 30^\circ\text{C}$.

22. По трубе диаметром d течет воздух при давлении $p = 0,1$ МПа. Часовой расход воздуха – 12 кг/ч, температура воздуха на входе в трубу $T_{\text{ж1}} = 288$ К. Средняя по длине температура внутренней поверхности трубы $T_{\text{ст}} = 420$ К. Определить на каком расстоянии от входа температура воздуха станет равной $T_{\text{ж2}} = 350$ К.

23. По трубе диаметром d течет вода со средней скоростью $w = 1,4$ м/с. Температура воды на входе в трубу $T_{\text{ж1}}$, а средняя по длине температура внутренней поверхности трубы $T_{\text{ст}} = 390$ К. На каком расстоянии от входа температура нагреваемой воды достигнет $T_{\text{ж2}}$.

24. Определить коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности трубы конденсатора паровой турбины к охлаждающей воде, количество передаваемой теплоты и длину трубы, если средняя по длине температура внутренней поверхности трубы $T_{\text{ст}} = 300$ К, внутренний диаметр трубы d , температуры воды на входе и выходе из трубы $T_{\text{ж1}}$ и $T_{\text{ж2}}$, а средняя скорость воды в трубке w .

25. Одиночная труба наружным диаметром d охлаждается поперечным потоком воды, скорость которой равна w . Средняя температура воды $T_{\text{ж}}$, а средняя температура наружной поверхности трубы $T_{\text{ст}}$. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к охлаждающей воде.

26. Вычислить потерю теплоты в единицу времени с 1 м^2 наружной поверхности горизонтального теплообменника, корпус которого имеет цилиндрическую форму и охлаждается свободным потоком воздуха. Наружный

диаметр корпуса теплообменника d , температура его поверхности $T_{ст}$, температура окружающего воздуха T_a .

Таблица 6 – Исходные данные к задачам 19 – 26

Номер задачи	Величины	Номер варианта							
		1	2	3	4	5	6	7	8
19	$D, м$	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15
	$t_e, ^\circ C$	60	70	80	90	100	110	120	130
20	$t_a, ^\circ C$	50	60	70	80	90	100	110	120
	$w_a, м/с$	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8
21	$t_m, ^\circ C$	40	50	60	70	80	90	100	110
	$w, м/с$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
22	$d, мм$	39	40	41	42	43	44	45	46
	$M, кг/ч$	40	45	50	55	60	65	70	75
23	$d, мм$	50	48	46	44	42	40	38	36
	$T_{ж1}, K$	300	305	310	315	320	325	330	335
	$T_{ж2}, K$	320	330	340	350	360	370	380	390
	$w, м/с$	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
24	$d, мм$	14	15	16	17	18	19	20	21
	$T_{ж1}, K$	283	284	285	286	287	288	289	290
	$T_{ж2}, K$	288	293	294	295	296	297	298	299
	$w, м/с$	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
	T_a, K	283	284	285	286	287	288	289	290
25	$d, мм$	14	15	16	17	18	19	20	21
	$w, м/с$	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
	T_a, K	283	284	285	286	287	288	289	290
	$T_{ст}, K$	322	325	327	329	331	333	335	337
26	$d, мм$	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
	T_a, K	300	305	310	315	320	325	330	335
	$T_{ст}, K$	350	360	370	380	390	400	410	420

5.2 Расчет процессов конвективного теплообмена при наличии фазовых переходов

27. На поверхности вертикальной трубы высотой h происходит пленочная конденсация неподвижного сухого насыщенного пара. Давление пара – p , а температура поверхности трубы – t_c . Определить толщину пленки конденсата и величину локального коэффициента теплоотдачи на расстоянии x от верхнего конца трубы. Расчеты произвести для $x = 0,2 h, x = 0,4 h, x = 0,6 h, x = 0,8 h, x = h$. Построить графики зависимостей $\delta = f(x)$ и $\alpha = f(x)$. При расчетах считать режим течения пленки конденсата ламинарным и использовать формулу Нуссельта.

28. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром d и длиной 2 м. конденсируется неподвижный сухой насыщенный пар при давлении p . Температура поверхности стенки трубы – t_c . Определить среднюю величину коэффициента теплоотдачи и количество сконденсировавшегося за 1 час пара.

29. Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя в кипящей воде, если плотность теплового потока от поверхности испарителя к воде равна q . Определить также температуру поверхности трубки, если давление над поверхностью воды – p . Режим кипения – пузырьковый.

Таблица 7 – Исходные данные к задачам 27 – 29

Номер задачи	Величины	Номер варианта							
		1	2	3	4	5	6	7	8
27	p , МПа	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15
	h , м	60	70	80	90	100	110	120	130
	t_c , °C	30	90	40	60	80	70	100	110
28	d , мм	21	20	8	10	12	14	16	18
	p , МПа	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
	q , кВт/м ²	40	50	60	70	80	90	100	110
29	p , МПа	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4

6. Расчет процессов лучистого и сложного теплообмена

30. Металлический трубопровод с наружным диаметром d имеет температуру поверхности $T_{ст}$. Температура окружающего воздуха равна T_b . Вычислить потери теплоты конвекцией и излучением с 1 погонного метра длины трубопровода, если степень черноты поверхности $\varepsilon = 0,70$.

31. Определить плотность теплового потока излучением между двумя расположенными на близком расстоянии параллельными пластинами, у которых степени черноты поверхностей равны ε_1 и ε_2 , а температуры соответственно T_1 и T_2 . Во сколько раз уменьшится плотность теплового потока, если между пластинами поместить тонкий металлический экран, у поверхностей которого степень черноты $\varepsilon_3 = 0,10$.

32. Цилиндрическая камера сгорания диаметром D и длиной l заполнена светящимся факелом жидкого топлива со средней температурой газов $t_f = 1000$ °С. Считая излучение факела серым со степенью черноты $\varepsilon_f = 0,6$ определить тепловой поток, воспринимаемый боковой поверхностью камеры сгорания. Металлическая стенка камеры сгорания охлаждается водой и имеет температуру $t_{ст}$ и степень черноты $\varepsilon_{ст}$.

33. Продукты сгорания органического топлива заполняют камеру нагревательной печи, имеющую размеры основания 4 x 6 м и высоту h . Определить поток собственного излучения газов на стенки печи, если известно в объемных процентах содержание в них водяного пара и диоксида углерода. Абсолютное давление газов $p = 0,102$ МПа, температура t_f .

34. Водяной пар с температурой t_n при давлении $p = 0,102$ МПа транспортируется по трубопроводу диаметром d и длиной $l = 10$ м. Внутренняя поверхность трубопровода отполирована и имеет степень черноты $\varepsilon_{ст} = 0,1$. Определить плотность теплового потока, отводимого от пара излучением, если температура поверхности трубопровода $t_{ст}$.

Таблица 8 – Исходные данные к задачам 30 – 34

Номер задачи	Величины	Номер варианта							
		1	2	3	4	5	6	7	8
30	d , мм	50	60	70	80	90	100	50	60
	T_b , К	270	275	280	290	300	310	320	330
	$T_{ст}$, К	320	325	330	340	350	360	370	380
31	ε_1	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
	ε_2	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,7	0,71	0,72
	T_1 , К	500	550	600	630	680	650	700	770
	T_2 , К	300	305	310	315	320	325	330	335
32	D , м	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
	l , м	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
33	$t_{ст}$, °С	520	540	560	580	600	620	640	660
	$\varepsilon_{ст}$	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86
	h , м	5,2	5,4	5,6	5,8	6,2	6,4	6,6	6,8
	CO_2 , %	9,5	9,0	8,0	7,0	6,0	5,5	5,0	4,5
	H_2O , %	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0
34	t_f , °С	1100	1050	1000	950	900	850	800	1150
	t_n , °С	130	140	150	160	170	180	190	200
	d , м	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34
	$t_{ст}$, °С	100	110	120	130	140	150	160	180

7. Тепловой расчет теплообменных аппаратов

35. Определить площадь теплообменной поверхности противоточного водоводяного теплообменника, если греющая вода поступает в него с температурой $T_{ж1}^I$, а удаляется с температурой $T_{ж1}^{II}$. Расход греющей воды M_1 кг/час. Расход

нагреваемой воды M_2 кг/час и её температура на входе в теплообменник $T_{ж2}^I$. Коэффициент теплопередачи от горячей воды к холодной $k = 1500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Как изменится площадь поверхности теплообмена, если противоток изменить на прямоток.

36. В пароводяном теплообменнике вода нагревается сухим насыщенным паром с давлением p . Температура нагреваемой воды на входе в теплообменник $T_{ж2}^I$, а на выходе $T_{ж2}^{II}$. Расход воды $M_2 = 1 \text{ кг/с}$. Определить количество передаваемой теплоты и площадь теплообменной поверхности, если коэффициент теплопередачи от пара к воде $k = 3000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Таблица 8 – Исходные данные к задачам 19 – 26

Номер задачи	Величины	Номер варианта							
		1	2	3	4	5	6	7	8
35	$T_{ж1}^I, \text{ К}$	400	395	390	405	408	380	402	396
	$T_{ж1}^{II}, \text{ К}$	360	355	350	365	370	350	355	360
	$M_1, \text{ кг/ч}$	2100	2150	2200	2250	2300	2000	2050	2100
	$M_2, \text{ кг/ч}$	1600	1650	1700	1750	1800	1500	1550	1600
	$T_{ж2}^I, \text{ К}$	300	305	292	295	290	280	298	285
36	$p, \text{ МПа}$	0,8	0,85	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
	$T_{ж2}^I, \text{ К}$	385	386	383	388	389	290	291	293
	$T_{ж2}^{II}, \text{ К}$	360	365	355	350	345	348	353	363