

Е. Г. Мигуцкий

(Белорусский политехнический институт)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В ВОДОВОЗДУШНЫХ ПОТОКАХ

В настоящее время интенсификации процессов теплообмена уделяется большое внимание. Одним из способов увеличения коэффициента теплоотдачи при использовании газового теплоносителя является впрыск воды и использование, таким образом, в качестве теплоносителя водогазовой смеси.

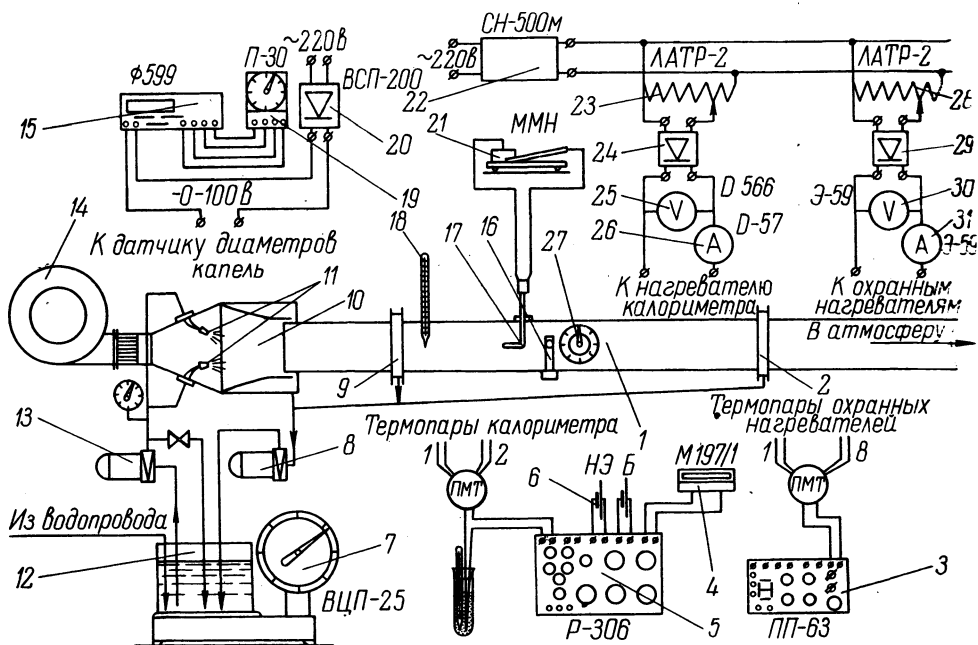


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

В настоящей статье описывается экспериментальная установка для определения коэффициента теплоотдачи от водовоздушной смеси, приведены некоторые результаты экспериментов и дано сравнение коэффициентов теплоотдачи для водовоздушной смеси с коэффициентами теплоотдачи для чистого воздуха и воды при тех же числах Re .

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Воздух в установку подается высоконапорным вентилятором 14. Сначала он поступает в смешительную камеру 10, в которую форсунками 11 впрыскивается вода. Вода к форсункам подается насосом 13 типа «Кама-2М». Количество впрыснутой воды измеряется весами 7 типа ВЦП-25.

Из смешительной камеры водовоздушная смесь поступает в рабочий участок 1 установки. Рабочий участок длиной 1,5 м и сечением 0,1 × 0,15 м

изготовлен из стеклотекстолита. Перед рабочим участком и за ним установлены камеры 9 и 2 для улавливания воды, движущейся по стенкам канала. Вода, осевшая на стенках смесительной камеры 10 и уловленная камерами 9 и 2, насосом 8 типа «Кама-2М» возвращается в расходный бак 12. Температура водовоздушной смеси перед рабочим участком измеряется термометром 18 с ценой деления 0,2°С.

В рабочем участке установлены: пневмометрическая трубка 17, датчик 16 для измерения диаметров капель воды в потоке, калориметр с охранными нагревателями 27. Измерение скорости потока производится пневмометрической трубкой 17 и микроманометром 21 с ценой деления 0,02 мм вод. ст.

Для определения диаметров капель используется метод, предложенный Виксом и Даклером [2]. В датчике использованы стальные иглы с напаянными платиновыми острями. Концы игл сводятся под микроскопом, и расстояние между ними измеряется индикатором. Напряжение на иглы подается от стабилизированного выпрямителя 20 типа ВСП-200. Число капель за единицу времени фиксируется частотомером 15 типа Ф-599 и секундомером 19 типа П-30.

Калориметр с охранными нагревателями имеет электрический обогрев. Он изготовлен из медной трубки диаметром 20/18 и длиной 100 мм. Нагреватель калориметра выполнен из нихрома, натянутого в стеклянный чулок и залитого раствором окиси хрома на жидком стекле. Нагреватель питается стабилизированным постоянным током через стабилизатор 22 типа СН-500М, автотрансформатор 23 типа ЛАТР-2 и выпрямитель 24. Сила тока и напряжение измеряются амперметром 26 типа Д-57 и вольтметром 25 типа Д-566. Охранные нагреватели питаются через автотрансформатор 28 и выпрямитель 29. Контроль за их работой производится по показаниям вольтметра 30 и амперметра 31.

Температура поверхности калориметра измеряется двумя хромель-копелевыми термопарами диаметром 0,2 мм. Э.д.с. термопар измеряется лабораторным потенциометром 5 типа Р-306 с зеркальным гальванометром 4 типа М-197/1 и нормальным элементом 6 II класса.

Конструкция калориметра позволяет поворачивать его вокруг оси, поэтому двух термопар достаточно, чтобы получить распределение температуры по периметру калориметра.

Контроль за работой охранных нагревателей производится по показаниям 8 термопар и потенциометра 3 типа ПП-63.

Для определения лучистой составляющей α_d была экспериментально определена степень черноты медных калориметров. Калориметры предельно выдерживались в течение 6 ч при температуре 150°С. Определение степени черноты проводилось по методу эквивалентов. В качестве эталонного образца использовался медный цилиндр, покрытый свечной копотью, степень черноты которой в интервале температур 95—270°С равна 0,952. В результате эксперимента получено значение $\epsilon_k = 0,388$.

После сборки установки была поставлена серия наладочных экспериментов на воздухе. Полученные в эксперименте значения конвективного коэффициента теплоотдачи α_k сравнивались со значениями коэффициентов теплоотдачи, рассчитанными по критериальному уравнению Жукаускаса [1] для $Re = 1 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$:

$$Nu_{kd} = 0,25 Re_{jd}^{0,6} Pr_{ж}^{0,38} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}.$$

Расхождение между экспериментальными и расчетными значениями α_k не превышало 10%, что подтверждает правильность выбранной методики и работоспособность экспериментальной установки.

Эксперименты по определению коэффициента теплоотдачи для водовоздушной смеси проводились в диапазоне чисел Re от $4,5 \cdot 10^4$ до $2,5 \cdot 10^4$, а количество впрыснутой воды g изменялось от 0,00205 до 0,00336 кг на 1 кг воздуха.

Значения экспериментальных коэффициентов теплоотдачи для водовоздушной смеси в сравнении со значениями коэффициентов теплоотдачи для воздуха и воды при тех же числах Re даны в табл. 1.

Таблица 1

$t_{ст}, ^\circ C$	$t_{пот}, ^\circ C$	$\Delta t, ^\circ C$	$w, м/сек$	$Re_{жд}$	$\alpha_k, вт/м^2 \cdot град$			$g, кг\ воды/кг\ воздуха$
					воздух	вода	водовоздушная смесь	
29,3	13,6	15,7	30,74	42459,0	168,6	11482,0	679,5	0,00205
32,3	13,4	18,9	30,87	42697,0	166,7	11626,0	725,4	0,00336
36,8	13,55	23,25	30,87	42700,0	166,8	11868,0	766,2	0,00336
41,2	11,2	30,0	31,10	43618,0	181,6	13369,0	709,1	0,00224
48,2	11,7	36,5	31,10	43466,0	170,1	12875,0	715,3	0,00224
59,3	12,3	47,0	31,85	44328,0	172,1	13318,0	824,0	0,00247
68,7	12,2	56,5	31,85	44359,0	172,2	14160,0	806,0	0,00247
26,2	12,65	13,55	24,00	33172,0	143,1	9554,0	597,2	0,00254
34,2	13,75	20,45	24,00	33103,0	142,0	10046,0	682,0	0,00254
44,2	13,9	30,3	24,00	33080,0	142,2	10514,0	705,0	0,00254
54,2	14,6	39,6	24,00	32944,0	142,8	10993,0	729,8	0,00254
70,3	14,6	55,7	24,00	32944,0	142,6	11757,0	677,1	0,00254
36,7	12,2	24,5	19,04	26518,0	126,1	8967,0	503,85	0,00354
47,1	12,3	34,8	19,04	26500,0	126,2	9471,0	562,0	0,00354
46,3	14,5	31,8	19,04	26153,0	124,0	9227,0	669,2	0,00354
54,7	14,4	40,3	19,04	26173,0	124,2	9614,0	702,3	0,00354
17,3	13,1	58,2	19,04	26371,0	125,4	10411,0	646,8	0,00354

Обозначения, принятые в таблице:

$t_{ст}$ — средняя температура поверхности калориметра, $^\circ C$;

$t_{пот}$ — температура водовоздушного потока, $^\circ C$;

Δt — температурный напор, $^\circ C$;

w — скорость в узком сечении, $м/сек$.

Из табл. 1 видно, что по сравнению с чистым воздухом коэффициент теплоотдачи для водовоздушной смеси повышается в 4—5 раз даже при незначительном количестве впрыснутой воды. Тем не менее α_k для чистой воды значительно выше.

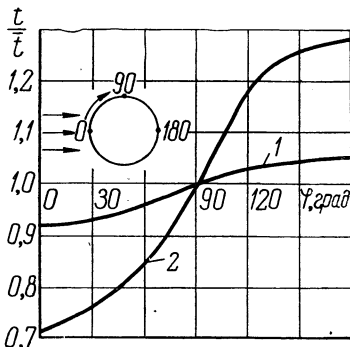


Рис. 2. Изменение температуры по окружности цилиндра, омываемого водовоздушной смесью, для $g = 2,54 \cdot 10^{-3}$ кг воды/кг воздуха; — 1 — $Re_{жд} = 33172, \Delta t = 12,65^\circ C$; 2 — $Re_{жд} = 32944, \Delta t = 55,7^\circ C$; \bar{t} — средняя температура поверхности.

Интересно отметить, что с ростом разности температур между поверхностью и водовоздушным потоком при неизменной концентрации коэффициент теплоотдачи вначале растет, а затем начинает уменьшаться. Во всех режимах отмечен при других равных условиях рост коэффициента теплоотдачи с ростом концентрации жидкой фазы. Типичные

распределения температуры по периметру калориметра показаны на рис. 2. Из графика видно, что при малых Δt изменение температуры по периметру незначительно. Для больших Δt отклонение температуры от средней достигает 30%, причем разность температур в лобовой и кормовой точках достигает 27°C .

Проведенные эксперименты показывают, что для интенсификации теплообмена вместо чистого воздуха можно использовать двухфазную водовоздушную смесь. В рамках параметров опыта (концентрация воды $g=0,00205—0,00354$ кг воды/кг воздуха, скорость потока $w=19,04—31,85$ м/сек, разность температуры $\Delta t=15,7—58,2^\circ\text{C}$) коэффициент теплоотдачи увеличивается в 4—5 раз.

Литература

1. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М., 1969. 2. Достижения в области теплообмена. Сб. ст. М., 1970.