



**Исследование поля
местных коэффициентов теплоотдачи
на поверхности цилиндра,
омываемого поперечным потоком воздуха**



Лабораторная работа № 3

"Исследование поля местных коэффициентов теплоотдачи на поверхности цилиндра омываемого поперечным потоком воздуха"

Задание: Определить поле местных коэффициентов теплоотдачи на поверхности цилиндра омываемого поперечным потоком воздуха. Путем осреднения полученных результатов определить средний коэффициент теплоотдачи для всей поверхности цилиндра и полученное значение сравнить с вычисленным по критериальным уравнениям.

Определение интенсивности теплоотдачи различных элементов поверхности тела, омываемого потоком жидкости, имеет чрезвычайно важное значение как для понимания механизма процесса теплообмена между потоком жидкости и телом, так и для интенсификации тепловых потоков на поверхности нагрева или охлаждения. Большой технический интерес представляет зависимость коэффициента теплоотдачи от координат точек поверхности в случае теплоотдачи круглого цилиндра в поперечном потоке газа, так как цилиндрические поверхности являются наиболее частыми элементами теплообменных аппаратов.

Теплоотдача при обтекании тел потоком жидкости тесно связана с гидродинамикой движения, т.к. процессы переноса тепла и движения жидкости тесно связаны между собой и влияют друг на друга. Специфические особенности движения жидкости определяются геометрической формой и размерами обтекаемого тела.

В теоретической части лабораторной работы № 2 рассмотрены особенности поперечного обтекания потоком жидкости круглого цилиндра. Одними особенностями обтекания поверхности цилиндра жидкостью и объясняется характер изменения поля локальных коэффициентов теплоотдачи в зависимости от координат точек на поверхности цилиндра, показанный на фиг. 6.

ВЕРХ

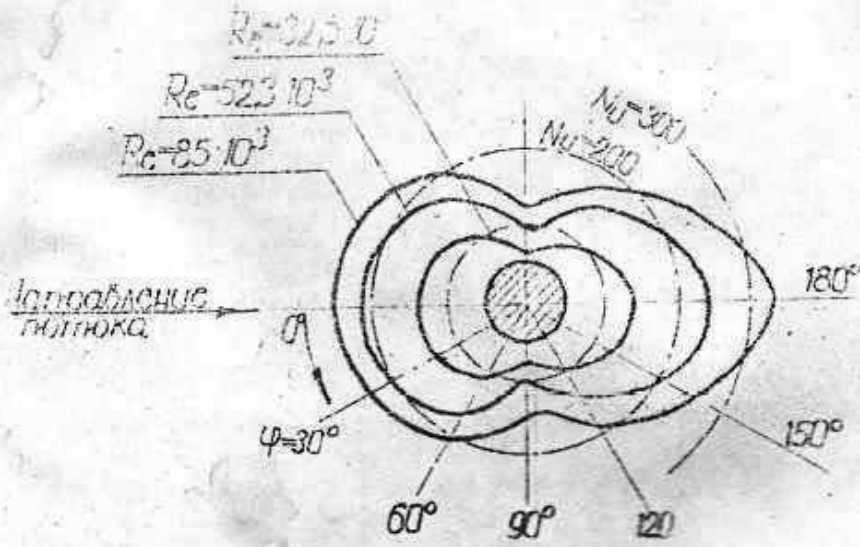


Рис. 6.

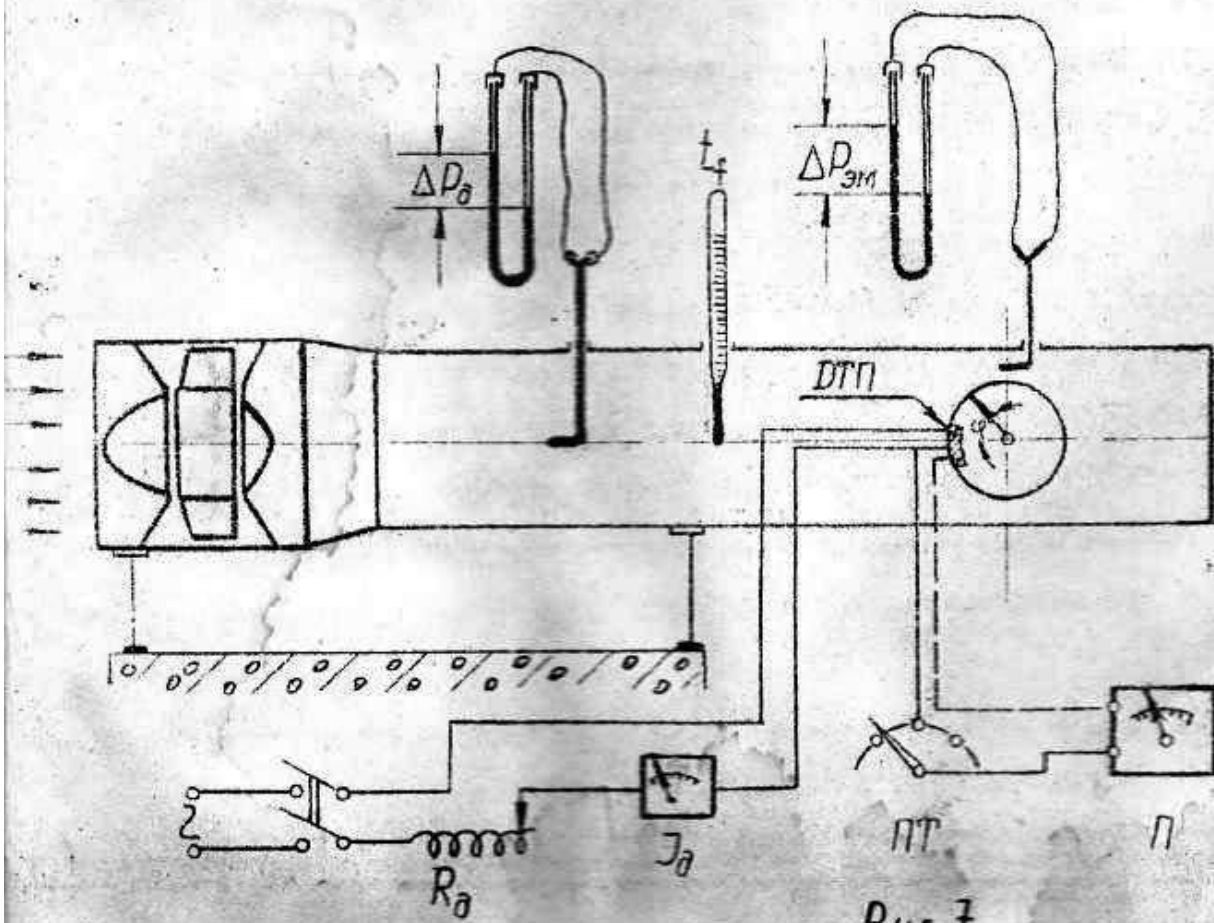


Рис. 7.

Исследования показывают, что коэффициент теплоотдачи зависит от скорости набегающего потока, физических свойств жидкости, температуры жидкости, температурного напора и направления теплового потока. В результате обобщения опытных данных в литературных источниках приводятся следующие критериальные уравнения для определения среднего коэффициента теплоотдачи при $Re = 5 \div 10^3$

$$Nu_f = 0,5 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (8)$$

при $Re = 10^3 \div 2 \cdot 10^5$

$$Nu_f = 0,25 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,38} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (9)$$

за определяющую температуру в уравнения (8) и (9) принята средняя температура пограничного слоя $t = \frac{1}{2}(t_w + t_f)$

В критерии Re_f скорость соответствует скорости потока в самом узком сечении канала, в котором расположен цилиндр.

Из теоретического решения Г.Н.Кружилина следует, что теплоотдача в точке разветвления потока ($\Psi = 0$) описывается уравнением

$$Nu = 1,04 Re^{0,5} Pr^{0,33} \quad (10)$$

Для воздуха приводятся и такие критериальные уравнения:

$$\text{При } Re = 4 \cdot 10^3 \div 4 \cdot 10^4 \quad Nu = 0,17 Re^{0,618} \quad (11)$$

$$Re = 4 \cdot 10^4 \div 4 \cdot 10^5 \quad Nu = 0,0239 Re^{0,805} \quad (12)$$

За определяющую температуру в этих уравнениях принята средняя температура жидкости, за характерную скорость - скорость набегающего потока.

Экспериментальная установка

Принципиальная схема установки для исследования теплоотдачи

при обтекании цилиндра показана на рис. 7. Цилиндр с смонтированными на его поверхности датчиками теплового потока (ЛП) установлен в рабочей части аэродинамической трубы. Поворот цилиндра с датчиком теплового потока на его поверхности позволяет определять коэффициенты теплоотдачи по периметру цилиндра. Для отсчета полярного угла положения датчика относительно точки разветвления потока на торце цилиндра укреплен лимб. Поток в аэродинамической трубе создается вентилятором. Скорость потока в рабочей части трубы вычисляется по динамическому напору ΔP_d , измеряемому пневмотрубкой и микроманометром. Температура потока в рабочей части трубы измеряется термометром. На рис. 8 показано устройство датчика теплового потока и схема подключения приборов. К рабочей пластине датчика (1) подводится тепло от нагревателя датчика (2), выполненного из сплава, электрическое сопротивление которого практически не изменяется при изменении температуры (манганина). Подведенное тепло передается воздуху, обтекающему цилиндр. Температура рабочей пластины измеряется медь-константановой термопарой t_w . Количество тепла, подведенное к пластине и переданное воздуху, определяется измеряемой мощностью нагревателя $Q = I^2 R$, где I — сила тока в цепи нагревателя датчика, R — электрическое сопротивление нагревателя. Мощность нагревателя регулируется реостатом R_g . Для того, чтобы все тепло, выделившееся в нагр

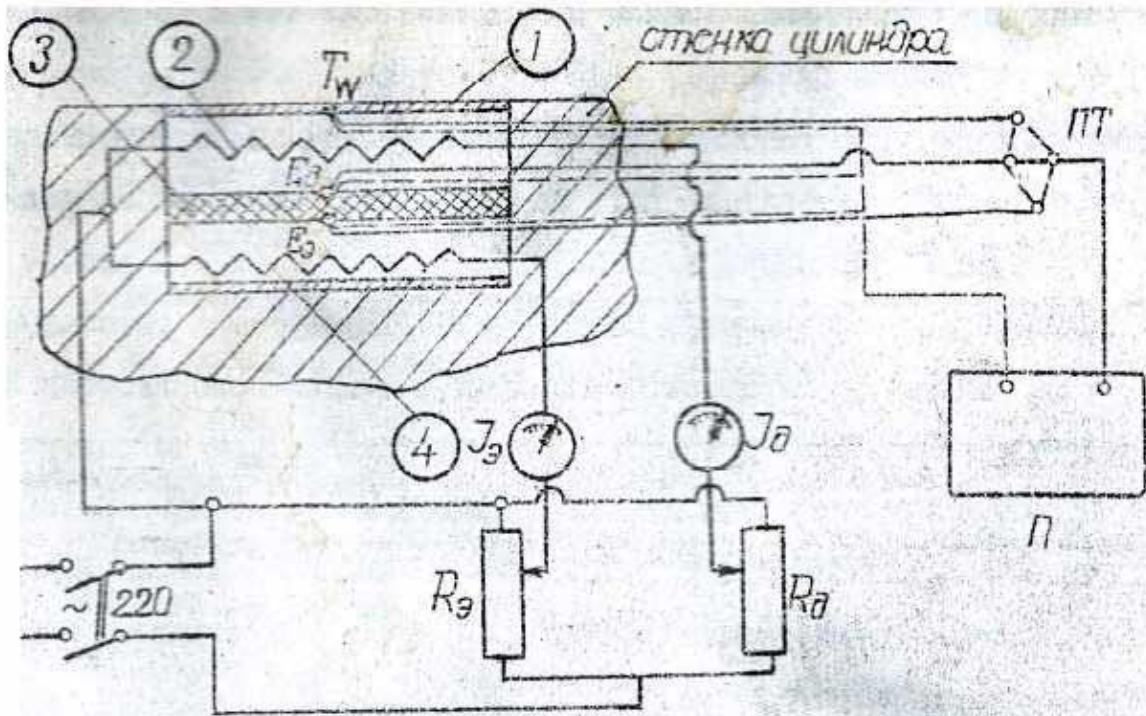


Рис. 8

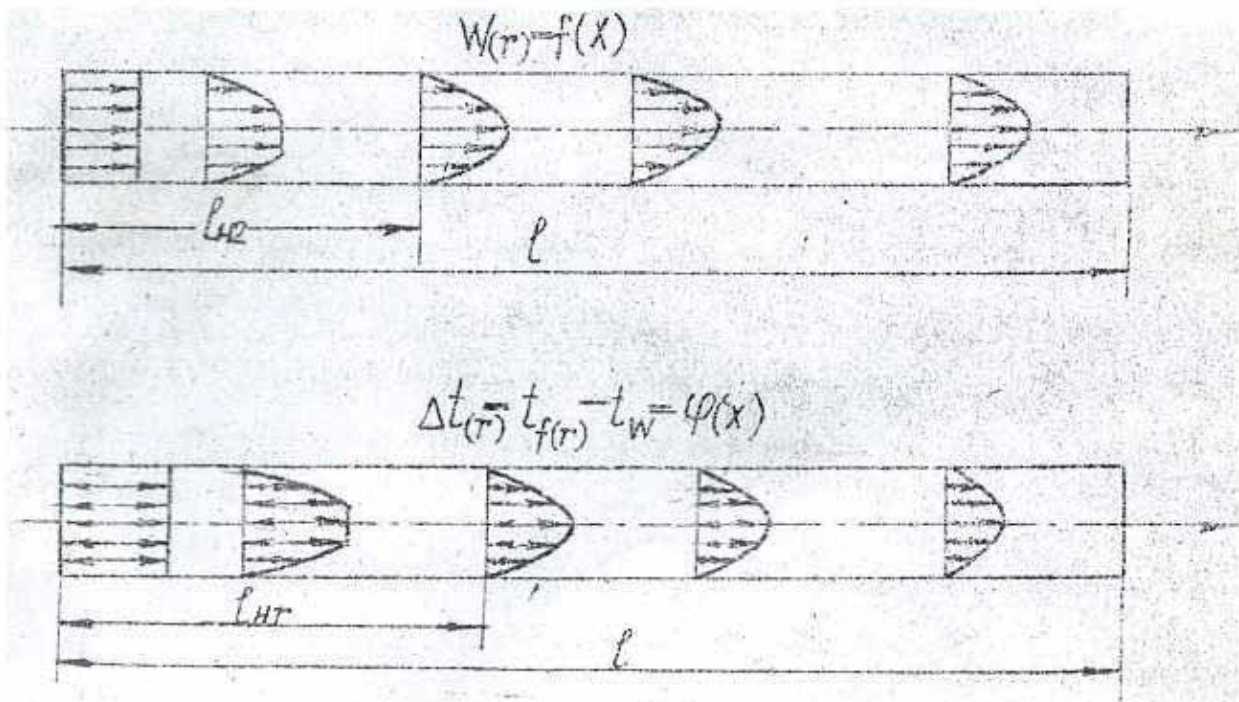


Рис. 9

вателе, подводилось только к пластине датчика и не рассеивалось в стенке цилиндра, под нагревателем датчика установлена приставка (3), выполненная из теплоизоляционного материала, и экранный нагреватель (4). На верхней и нижней плоскостях приставки зачеканены термометры t_g^+ и t_g^- . При работе датчика мощность экранного нагревателя регулируется реостатом R_2 так, чтобы температуры на верхней и нижней поверхностях приставки были равны. При этом градиент температуры по толщине приставки будет равен нулю и тепловой поток от нагревателя датчика к приставке будет также равен нулю. Выводы всех термометров подключены к клеммам переключателя ПГ, а ЭДС термометров измеряется потенциометром П.

Проведение опыта

При работе с установкой необходимо помнить:

- а) Запуск установки начинается с выключения вентилей аэродинамической трубы и только после этого включать нагреватель датчика.
- б) Не допускать силу тока в цепях нагревателей больше 150 мА.
- в) Не допускать нагрев изоляционной приставки датчика до температуры, превышающей 100°C , что соответствует $E_g \approx 3\text{ мВ}$.
- г) Не допускать поворота цилиндра больше одного оборота и не начинать поворот при закрученном круге соединительных проводов.
- д) Остановку установки начинать с выключением нагревателя

датчика, и только после этого выключить вентилятор аэродинамической трубы.

Рекомендуется следующая последовательность проведения опыта:

1. Измерить параметры окружающей среды;

барометрическое давление $P_0 =$ мм рт ст

температура окружающей среды $t_0 =$ °C

2. Включить вентилятор аэродинамической трубы.

3. Установить цилиндр так, чтобы ДТН находился в точке разветвления потока ($\varphi=0$).

Включить нагрев датчика и с помощью реостата R_2 установить необходимую мощность нагревателя ДТН. Реостатом

R_2 отрегулировать мощность экранного нагревателя так, чтобы ЭДС термпар E_1 и E_2 были равны.

4. Замерить ЭДС термпары T_w . Силу тока в цепи нагревателя ДТН (I_g) и динамический напор ΔP_g , температуру набегающего потока t_f . Поворачивая цилиндр на необходимый угол и добившись равенства E_1 и E_2 при установившемся режиме теплоотдачи с интервалом $\Delta\varphi=30^\circ$ произвести измерения T_w и I_g в диапазоне полных углов от 0 до π . Тепловой режим можно считать установившимся если показания термпар E_1 , E_2 , T_w не изменяются в течении 2-3 минут без дополнительной регулировки нагревателей. Опыт показывает, что после изменения положения ДТН установившийся режим устанавливается примерно через 4-5 минут. После каждого измерения при данном положении ДТН, необходимо провести установку нуля нуль-гальванометра.

По окончании измерений установку выключить в следующей последовательности:

а) с помощью реостатов R_2 и R_3 снять нагрузку нагревателей датчика и экрана.

- б) выключить электропитание нагревателей и потенциометр.
 в) После выключения электропитания ~~муж~~ нагревателем че-
 рез 2-3 минуты выключить вентилятор.

Все результаты измерений записать в таблицу.

Барометрическое давление $P_0 =$ мм. рт. ст.
 температура окружающей среды $t_0 =$ °C

№№ отсчета	Измеренные величины					Вычисленные величины						
	Угол φ	I мА	ΔP_g мм вог. ст.	T_w мВ	$t_{w\varphi}$ °C	$t_{w\varphi}$ °C	Δt_{φ}	α_{φ} $\frac{в_{ш}}{м^2 \cdot гр}$	α_{φ} $\frac{в_{ш}}{м^2 \cdot гр}$	Re_{φ}	Nu_{φ}	α_{φ} $\frac{в_{ш}}{м^2 \cdot гр}$
0												
30												
60												
90												
120												
150												
180												

По/ результатам вычислений построить графики

$$\alpha_{\varphi} = F(\varphi) \quad \text{и} \quad t_{w\varphi} = \psi(\varphi)$$

Обработка результатов опыта

1. По замеренным ЭДС термометры T_w и градуировочной таблице медь-константановых термометр определяются локальные температурные напоры $\Delta t_{\varphi} = t_{w\varphi} - t_0$

2. Температура стенки по периметру цилиндра

$$t_{w\varphi} = t_0 + \Delta t_{\varphi}$$

3. Местные коэффициенты теплоотдачи

$$\alpha_{\varphi} = \frac{\gamma^2 R}{\Delta t_{\varphi} F} =$$

где $K = \frac{R}{F}$ - рабочий коэффициент датчика
для датчика № I $K = \dots \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

4. Средний коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\int_0^{\pi} \alpha_{\varphi} \cdot \Delta t_{\varphi} \cdot d\varphi}{\pi (t_m - t_f)} = \frac{\sum_0^{\pi} \alpha_{\varphi} \cdot \Delta t_{\varphi} \cdot \Delta\varphi}{\pi (t_m - t_f)}$$

где: $t_m = \frac{\sum_0^{\pi} t_{w\varphi} \cdot \Delta\varphi}{\pi}$

- среднее по периметру цилиндра температура поверхности.

Если $\alpha_{\text{ср}}$ определить как среднее интегральное, то

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \alpha_{\varphi} \cdot d\varphi = \frac{\sum_0^{\pi} \alpha_{\varphi} \cdot \Delta\varphi}{\pi}$$

5. Плотность воздуха $\rho = \frac{P_0}{R T_f}$

где $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - газовая постоянная воздуха

6. Скорость набегающего потока

$$W = \sqrt{\frac{2 \Delta P_g}{\rho}}$$

7. Критерий Рейнольдса $Re = \frac{W D}{\nu}$

где $D = 105 \text{ мм}$ - диаметр цилиндра

Критерий Рейнольдса вычисляется при соответствующей определяющей температуре. По значению критерия Re определяется режим течения жидкости и выбирается необходимая формула для вычисления числа Нуссельта.

8. Число Нуссельта по формулам (10), (11), (12) при соответствующей определяющей температуре.

9. Средний коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{Nu \lambda}{D}$$

10. Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\alpha_{\text{ср}} - \alpha}{\alpha_{\text{ср}}} \cdot 100\%$$

Номер датчика	$R_{\text{ср}} \text{ Ом}$
1	46,8
2	46,5
3	46,8
4	50,3
5	54,5
6	52,7
7	47,5
8	51,0

$$F_{\text{датч}} = 108 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$