

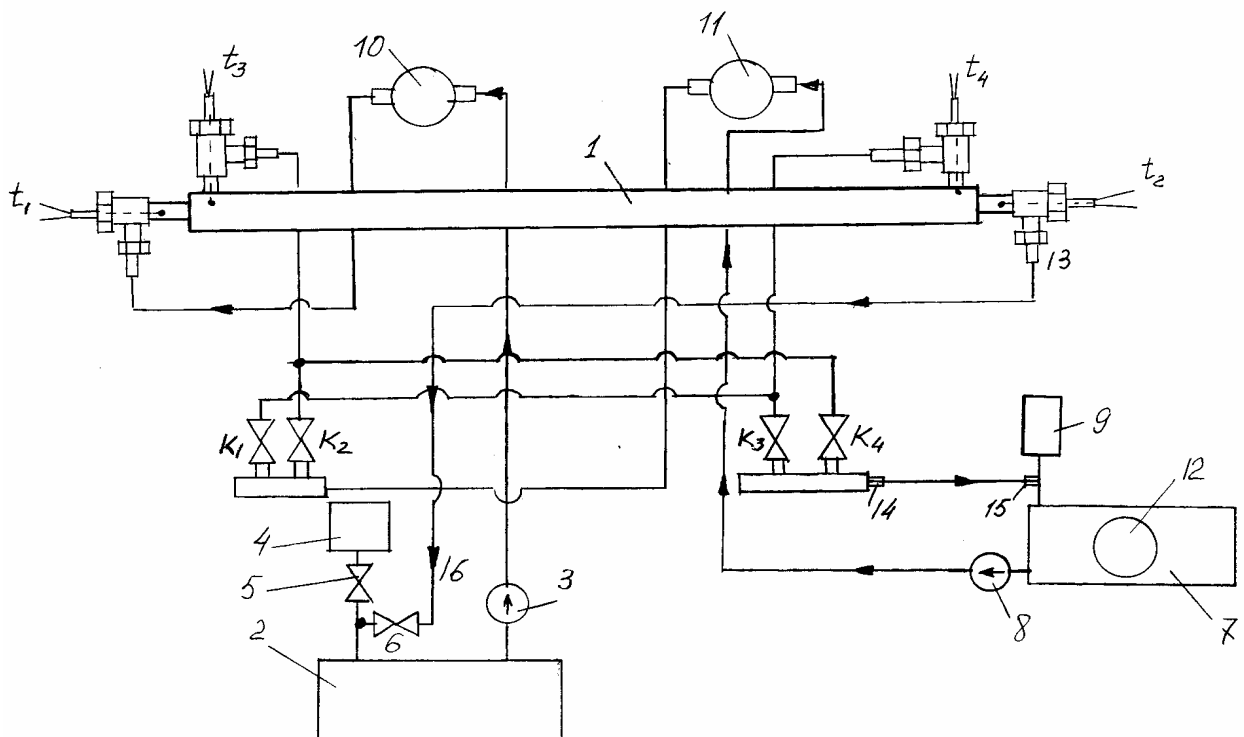
**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ**  
**ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ**  
**(ТРУБА В ТРУБЕ)**

**1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

В данной работе изучается теплообменный аппарат, в котором теплоносители находятся в однофазном состоянии и не контактируют друг с другом непосредственно. Такие аппараты называют поверхностными теплообменниками или рекуперативными. Установка позволяет осуществить две простых схемы движения теплоносителей: прямоточная (теплоносители движутся в одном направлении) и противоточная (теплоносители движутся в противоположных направлениях). Целью данной работы является экспериментальное определение коэффициента теплопередачи от «горячего» теплоносителя к «холодному» и сравнение его с расчетной величиной.

**2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ**

**2.1. Устройство установки:**



1. Рабочий участок (труба в трубе).
2. Водоподогреватель.
3. Насос водоподогревателя.
4. Расширительный бачок водоподогревателя.
5. Вентиль расширительного бачка.
6. Вентиль регулирования расхода горячей воды во внутренней трубе.

7. Радиатор (холодильник) для охлаждения воды, текущей в наружной трубе рабочего участка.

8. Насос холодильника.

9. Расширительный бачок радиатора.

10. Измеритель расхода воды, текущей во внутренней трубе рабочего участка.

11. Измеритель расхода воды, текущей во внешней трубе рабочего участка.

12. Вентилятор радиатора(холодильника) с источником питания.

K1 , K2 , K3 , K4 – вентили, регулирующие режимы течения ( прямоток или противоток ) и расход воды во внешней трубе рабочего участка.

ВМ – вентили Маевского, предназначенные для удаления воздуха из системы.

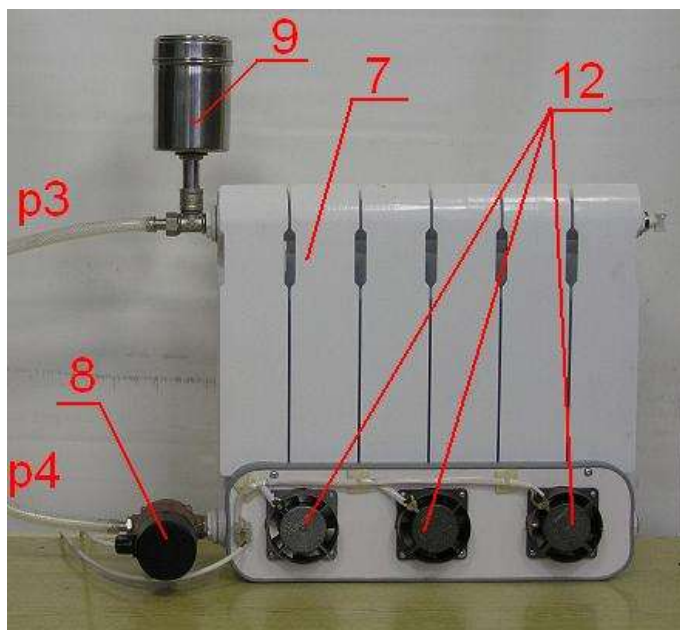
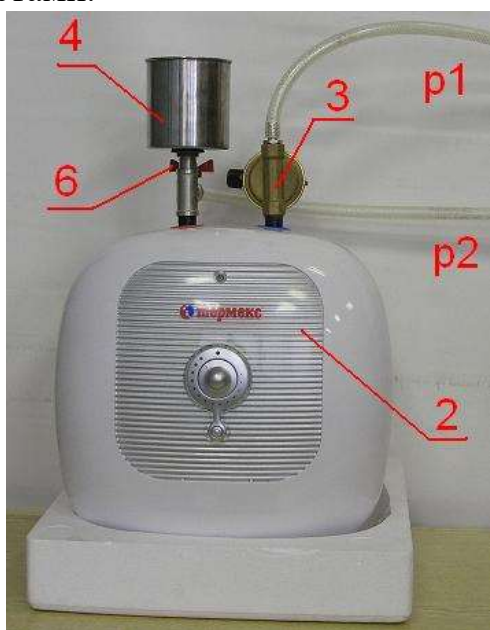
$t_1$ - температура воды на входе во внутреннюю трубу рабочего участка.

$t_2$ - температура воды на выходе из внутренней трубы рабочего участка.

$t_3$ - температура воды на входе во внешнюю трубу рабочего участка в условиях прямотока.

$t_4$ - температура воды на выходе из внешней трубы рабочего участка в условиях прямотока.

При включении противотока воды во внешней трубе  $t_3$  и  $t_4$  поменять местами.



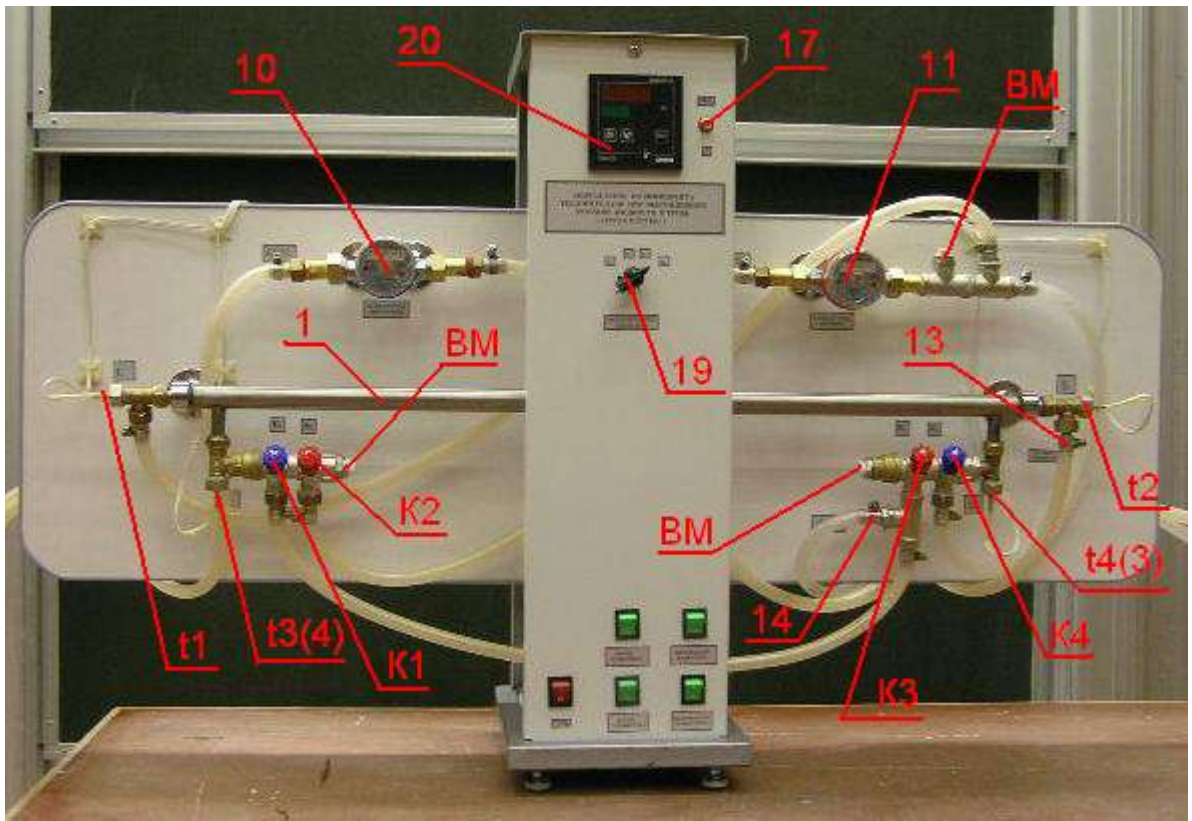


Рис.2

## 2.2. Принцип работы установки:

Тепловой поток, отдаваемый горячим теплоносителем рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{отд}} = G_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_1 - t'_1) \quad (1)$$

Воспринимаемый тепловой поток холодным теплоносителем считается аналогично

$$Q_{\text{воспр}} = G_2 \cdot C_{p2} \cdot (t''_2 - t_2) \quad (2)$$

, где  $t_1$  и  $t_2$  – температуры горячего и холодного теплоносителей соответственно. Индексы «штрих» и «два штриха» - соответствуют условиям на входе и выходе.

$C_{p1}$  и  $C_{p2}$  – изобарные теплоемкости теплоносителей (в данном случае величины можно принять равным 4180 Дж/(кг\*К), поскольку теплоносителем является вода, а в рабочем интервале температур её теплоемкости слабо отличается от вышеприведенной величины)

$G_1$  и  $G_2$  – массовые расходы теплоносителей (кг/с)

$$G = V \cdot \rho, \quad (3)$$

где  $V$  – объемный расход ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$\rho$  плотность воды (принять 994 ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )).

Отношение (4) - КПД теплообменника.

$$\eta_{\text{то}} = \frac{Q_{\text{воспр}}}{Q_{\text{отд}}} \quad (4)$$

Тепловой поток в окружающую среду (потери тепла) определяется разностью

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{отд}} - Q_{\text{воспр}} \quad (5)$$

Для точности дальнейшего расчета воспользуемся средней между ними величиной.

$$Q = \frac{Q_{\text{отд}} + Q_{\text{воспр}}}{2} \quad (6)$$

Уравнение теплопередачи для цилиндрического теплообменника будет выглядеть следующим образом

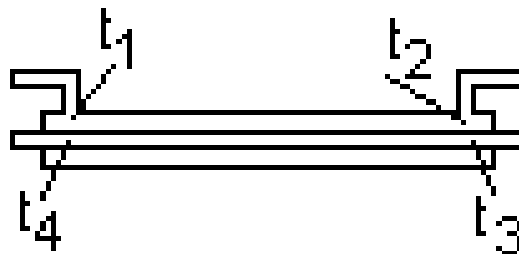
$$Q = \pi \cdot l \cdot k_1 \cdot \Delta T \quad (7)$$

где  $l$  – длина поверхности теплообмена (длина наименьшей между внутренней и внешней трубой)

Среднелогарифмический температурный напор равен

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{\text{Б}} - \Delta T_{\text{М}}}{\ln \left( \frac{\Delta T_{\text{Б}}}{\Delta T_{\text{М}}} \right)} \quad (8)$$

где  $\Delta T_{\text{Б}}$  и  $\Delta T_{\text{М}}$  – большая и меньшая разница температур в концевых сечениях теплообменника (независимо от схемы движения теплоносителей), то есть



$\Delta T_1 = t_4 - t_1$ ;  $\Delta T_2 = t_3 - t_2$ , если  $\Delta T_1 > \Delta T_2$  значит  $\Delta T_{\text{Б}} = \Delta T_1$ ;  $\Delta T_{\text{М}} = \Delta T_2$ , тогда коэффициент теплопередачи будет равен:

$$k_1 = \frac{Q}{\pi \cdot l \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Формула (9) используется для экспериментального определения коэффициента теплопередачи.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ.

Для цилиндрической стенки коэффициент теплопередачи находится из уравнения

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \left( \frac{d_2}{d_1} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \quad (10)$$

Трубы сделаны из нержавеющей стали  $\lambda_{ст} = 14.4 + 0.016 \cdot t$ . Среднюю температуру стали  $t$  найдем следующим образом  $t = (t'_1 + t''_1 + t'_2 + t''_2)/4$ . Поверхностью теплообмена между теплоносителем является внутренняя труба, у которой  $d_1$  и  $d_2$  это внутренний и внешний диаметры соответственно. Величины  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – это коэффициенты теплоотдачи снаружи и внутри трубы. Чтобы оценить их величины необходимо вычислить число Рейнольдса - критерий режима течения. В нашем опыте предполагается, что течение теплоносителей ламинарное.

$$Re = \frac{w \cdot l_0}{\nu} \quad (11)$$

для труб  $Re > 4000$  соответствует турбулентному течению;  $w$  – скорость теплоносителя, м/с (её можно оценить как  $w = V/F$ , где  $F$  – площадь сечения канала);  $\nu$  - кинематическая вязкость,  $\text{м}^2/\text{с}$  (её значение берется из таблиц при средней температуре теплоносителя);  $l_0$  – характерный размер поверхности теплообмена. Для внутреннего контура  $l_0$  – это внутренний диаметр внутренней трубы. Для внешнего контура  $l_0$  – это разность между внутренним диаметром внешней трубы и внешним диаметром внутренней трубы  $l_0 = d'_1 - d'_2$ .

Тогда для внутреннего контура можно записать выражение:

$$Nu = 0.021 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \cdot \varepsilon_t \quad (12)$$

, а для внешнего

$$Nu = 0.017 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \left( \frac{d'_2}{d'_1} \right) \cdot \varepsilon_t \quad (13)$$

В случае же ламинарного течения жидкости, для обеих труб справедливо выражение:

$$Nu = 1.55 \cdot \left( \frac{1}{Re \cdot Pr} \cdot \frac{l}{l_0} \right)^{-\frac{1}{3}} \quad (14)$$

Поскольку разница между теплофизическими свойствами теплоносителей в средних сечениях каналов и в пристенных слоях отличается мало поправку  $\square_t$  принимаем равной 1.

$Pr$  – число Прандтля, в нашем случае функция температуры и берется из таблиц при средней температуре теплоносителя.

$Nu$  – безразмерная теплоотдача (число Нуссельта)

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_0}{\lambda_{\text{Ж}}} \quad (15)$$

Здесь,  $l_0$  – для внутреннего контура внутренний диаметр внутренней трубы, а для внешнего –  $l_0 = d_1 - d_2$ ;  $\lambda_{\text{Ж}}$  – теплопроводность теплоносителя (воды), также берется из таблиц при средней температуре теплоносителя.

Из соотношения (14) определяют  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ :

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{Ж}}}{l_0} \quad (16)$$

Критериальные методы оценки весьма неточны, но полученные значения коэффициентов теплопередачи не должны расходиться более чем на 15%.

#### 4 ПОРЯДОК РАБОТЫ

4.1. Включить установку в сеть.

4.2. Тумблером «СЕТЬ» включить питание установки.

4.3. При всех открытых вентилях проверить заполнение водой водоподогревателя и радиатора. При этом расширительные бачки должны быть заполнены на половину.

4.4. Включить тумблер «НАСОС НАГРЕВАТЕЛЯ». Если расходомер 10 не работает (в системе имеется воздушная пробка), то необходимо несколько раз произвести включение и выключение насоса при открытых ВМ.

4.5. Вентилем 6 отрегулировать необходимый расход воды во внутренней трубе рабочего участка.

4.6. Для установки режима «прямоток» во внешней трубе рабочего участка закрыть вентили К1, К4 и открыть вентили К2, К3.

4.7. Тумблером «НАСОС ХОЛОДИЛЬНИКА» включить насос 8 радиатора (холодильника).

4.8. Включая и выключая насос 8 радиатора тумблером «НАСОС ХОЛОДИЛЬНИКА» достичь равномерного вращения «турбинки» расходомера 11, свидетельствующего о непрерывном потоке воды во внешней трубе рабочего участка.

4.9. Вентилем К3 отрегулировать необходимый расход воды во внешней трубе рабочего участка в режиме «прямоток».

4.10. Для установки режима «противоток» во внешней трубе рабочего участка закрыть вентили К2 , К3 и открыть вентили К1 , К4.

4.11. Вентилем К4 отрегулировать необходимый расход воды во внешней трубе рабочего участка в режиме «противоток».

4.12. После установки нужного режима течения воды во внешней трубе рабочего участка и требуемых расходов (15-20 см<sup>3</sup>) в секунду (см. паспорт расходомера), включить водоподогреватель 2 тумблером «НАГРЕВ».

4.13. Включить измеритель температуры 20 тумблером 17.

4.14. Включить вентилятор холодильника тумблером 18 «ВЕНТИЛЯТОР ХОЛОДИЛЬНИКА».

4.15. При достижении температура на входе во внутреннюю трубу  $t_1 = 45-50^{\circ}\text{C}$  произвести отсчёт температур  $t_1, t_2, t_3, t_4$  с помощью переключателя термопар 19.

4.16. Включить секундомер и произвести отсчёт показаний расходомеров.

Выключить секундомер и произвести отсчёт показаний расходомеров.

При этом определить промежуток времени за который через сечения труб прошли соответствующие объёмы воды.

Данные опыт провести для двух режимов «прямоток» и «противоток» полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты замеров

№ Опыта	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$G_1$	$G_2$

По результатам таблицы 1 построить графики изменения температур от времени в режимах «прямоток» и «противоток» и сравнить коэффициенты теплопередачи.

## 5 ДАННЫЕ УСТАНОВКИ

Внутренний диаметр внешней трубы 22мм.,  
толщина стенки 1.5мм.;

Внутренний диаметр внутренней трубы 13мм.,  
толщина стенки 1мм.;

длина рабочего участка 950мм.