

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБОК ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

*Стамбекова Гүлзада Анаркуловна, преподаватель кафедры «Теплоэнергетика»,  
(+996)545183, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66,  
e-mail: [stambekova80@mail.ru](mailto:stambekova80@mail.ru), [orcid.org: 0000-0003-2757-5632](https://orcid.org/0000-0003-2757-5632)*

Рассмотрены протекающие процессы теплообмена в ряде промышленных объектов, выполнен анализ процессов теплообмена, выявлены факторы присущие данным процессом и зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи от скорости потока и характера движения, от формы и размера обтекаемого тела, от свойств и состояния среды, приведены законы описывающие процессы теплопроводности и конвективного теплообмена, рассмотрены режимы течения при свободной и вынужденной конвекции.

Экспериментально исследованы зависимости степени черноты  $\varepsilon$  горизонтальных трубок от температуры стенки.

Актуальность данной работы следует из анализа в справочных данных по степени черноты для различных материалов. Как правила в справочниках представлены значения степени черноты лишь для отдельных или в каком-либо интервале температур.

Поэтому была поставлена задача выявить зависимость степени черноты от температуры стенки для металлических трубок (серая и черная).

Данная задача является актуальной еще и потому, что в настоящее время применяются новые лакокрасочные и теплоизоляционные материалы степени черноты и их зависимость не изучены.

**Ключевые слова:** воздух, температура воздуха, естественная конвекция, степень черноты, коэффициент теплоотдачи, критерий Грасгофа и Нуссельта, конвективный теплообмен, закон Ньютона-Рихмана.

## DETERMINATION OF THE DEGREE OF BLACKNESS OF HORIZONTAL TUBES AT NATURAL CONVECTION

*Stambekova Gulzada Anarkulovna, teacher the department of "Thermal Engineering", KSTU them I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek city, st. Ch. Aitmatova 66, e-mail: [stambekova80@mail.ru](mailto:stambekova80@mail.ru), [orcid.org: 0000-0003-2757-5632](https://orcid.org/0000-0003-2757-5632)*

The ongoing heat exchange processes in a number of industrial objects are considered, analysis of heat exchange processes is carried out, factors inherent in this process and the dependence of the convective heat transfer coefficient on the flow rate and the nature of movement, on the shape and size of the streamlined body, on the properties and state of the environment are described, the laws describing the processes of heat conduction and convective heat transfer, flow regimes under free and forced convection are considered.

The dependences of the degree of blackness of horizontal tubes on the wall temperature were experimentally investigated.

The relevance of this work follows from the analysis in the reference data on the degree of blackness for various materials. As rules in reference books, the values of the degree of blackness are presented only for individual or in any temperature range.

Therefore, the task was to identify the dependence of the degree of blackness on the temperature of the wall for metal tubes (gray and black).

This task is also relevant because at the present time new paintwork and heat-insulating materials of the degree of blackness are used and their dependence has not been studied.

**Keywords:** air, air temperature, natural convection, blackness, heat transfer coefficient, Gragof and Nusselt criterion, convective heat transfer, Newton-Richman law.

### Введение

Конвекция – это перенос тепла при перемещении микрочастиц подвижной среды (газа или жидкости) в пространстве из области с одной температурой в область другой температуры [2].

В зависимости от причины возникновения движения подвижной среды различают: вынужденную и естественную конвекцию [2].

При естественной конвекции движение жидкости или газа происходит вследствие действия подъемной силы, возникающей в самой среде, из-за разности плотностей нагретых и холодных частиц подвижной среды [1].

**Актуальность данной работы** следует из анализа в справочных данных по степени черноты для различных материалов. Как правила в справочниках представлены значения степени черноты лишь для отдельных или в каком-либо интервале температур.

Поэтому была поставлена задача выявить зависимость степени черноты от температуры стенки для металлических трубок (серая и черная).

Для выполнения данной задачи нами выполнен экспериментальный стенд, который представлен на рис.1.

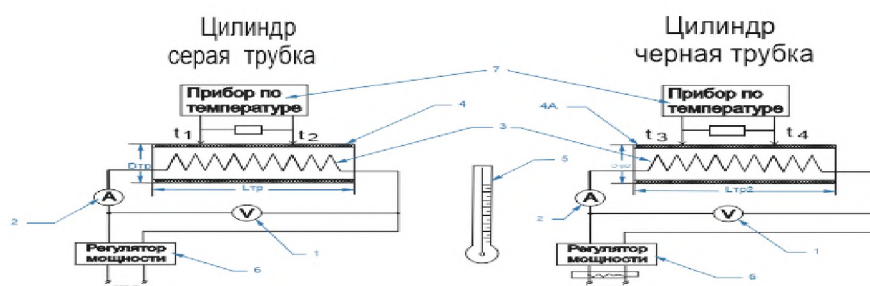


**Рис.1. Экспериментальный стенд для определения степени черноты горизонтальных трубок при естественной конвекции**

Данная задача является актуальной еще и потому, что в настоящее время применяются новые лакокрасочные и теплоизоляционные материалы степени черноты и их зависимость не изучены.

Выполненные исследования является I этапом в изучении зависимости степени черноты от температуры поверхности различных стенок.

Исследование проводилось при естественной конвекции при различных стационарных режимах установки (рис.2).



**Рис.2. Принципиальная схема установки для определения зависимости степени черноты горизонтальных труб при естественной конвекции.**

- 1-вольтметр;
- 2-амперметр-марка HELES CR-52;
- 3-источники тепла (эл.нагреватель);
- 4- цилиндрическая серая трубка; 4А-цилиндрическая черная трубка;
- 5-термопара ( $t_1, t_2$ ) и ( $t_3, t_4$ );
- 6-прибор для измерения температуры марки REXC 700;
- 7-термометр (ртутн.) °С;
- 8-переключатель термопар;
- 9-регулятор мощности марки POWER.Regulation.

По достижению каждого стационарного режима производились измерения.

1. Температура поверхности трубок ( $t_{ст}$ ) измерялось с помощью хромель-копелевых термопар;

2. Температура окружающей среды (воздуха,  $t_b$ ) измерялось с помощью термометра ТЛ с ценной деления  $0,1^{\circ}\text{C}$ ;

3. Напряжения и ток измерялись с помощью вольтметра и амперметра.

4. Изменение мощности на нагреватель осуществлялось с помощью регулятора напряжения.

Результаты измерений всех параметров представлены в табл.1 и 2.

**Результаты измерений (серая трубка)**

табл.1

№ опыта	$t_1, ^{\circ}\text{C}$	$t_2, ^{\circ}\text{C}$	I, A	U, В	W, Вт	$t_b, ^{\circ}\text{C}$
1	37	37	2,1	0,54	1.109	22
2	52	52	3	0,88	2.627	22
3	74	76	3,7	1,4	5.44	22
4	86	86	4,8	1,44	6.9	22
5	109	109	6	1,7	10.2	22
6	138	139	7,2	2,16	15.6	22
7	161	161	8,6	2,6	22.4	22
8	199	199	9	3,69	33.21	22

**Результаты измерений (черная трубка)**

табл.2

№опыта	$t_3, ^{\circ}\text{C}$	$t_4, ^{\circ}\text{C}$	I, A	U, В	W, Вт	$t_b, ^{\circ}\text{C}$
1	32	34	1.9	0.42	0.800	22
2	45	43	2.5	0.8	2	22
3	46	48	2.55	0.94	2.4	22
4	58	61	3.5	1.2	4.2	22
5	63	63	3.6	1.28	4.64	22
6	72	69	3.7	1.6	5.92	22
7	79	81	4.5	1.76	7.92	22
8	90	88	5.1	2	10.2	22
9	100	101	6	2.26	13.56	22

**Обработка результатов производилось следующим образом:**

Тепло, выделяющееся в единицу времени на электронагревателе  $Q_3$  определялось по формуле:

$$Q_3 = I \cdot U, \text{ Вт}$$

где I – сила тока, (А);

U – эл. напряжение, (В).

Оно равно количеству тепла, переданному за одну секунду в окружающую среду за счет конвективного теплообмена и теплового излучения:

$$Q_3 = Q_k + Q_l$$

Количества тепла переданного за счет конвективного теплообмена в окружающую среду определялось по формуле Ньютона- Рихмана [4]:

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot (t_{ст} - t_b)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  определялся посредством теории подобия из критериев Нуссельта:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

Для определения критериев Nu использовалось уравнение [4] [стр.95-96] рекомендуемое для горизонтальных трубок при произведении  $10^3 < Gr_{ж} \cdot Pr_{ж} < 10^8$  и представляет следующий вид:

$$Nu = 0,46 (Gr)^{0,25}$$

где критерий Gr определяется по следующей формуле:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (t_{ст} - t_{в}) \cdot d^3}{\nu_{в}^2}$$

где  $g - 9,81 \text{ м/с}^2$ , ускорение свободного падения;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\beta = \frac{1}{t_{в} + 273}$  – коэффициент объемного расширения газов;  $d_{тр} = 10 \text{ мм}$ .

При  $t_{в}$  были получены физические свойства сухого воздуха [3].

Таким образом, определив критерий Gr, Nu определяем:

- коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ;
- количество тепла, переданное конвективным теплообменом  $Q_k$ .

Зная количество тепла  $Q_{эл.}$ ,  $Q_k$  определяется количества тепла переданное излучению  $Q_l$  по уравнению:

$$Q_l = Q_{эл} - Q_k$$

Степени черноты трубок  $\varepsilon$  определялись по следующей формуле [4]:

$$\varepsilon = \frac{Q_l}{C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{в}}{100} \right)^4 \right] \cdot F}$$

где  $C_0 - 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ , коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $F$  – внешняя поверхность трубок,  $\text{м}^2$ ;  $T_{в}$  и  $T_c$  – соответ-но абсолютные температуры воздуха и стенки, К.

**Результаты расчетов показаны в сводных таблицах 3 и 4:**

**Сводная таблица (серая трубка)**

табл.3

N реж.	$t_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$	$W$	$Gr$	$Nu$	$\alpha$	$Q_k$	$Q_l$	$\varepsilon$	
1	37	22	1.109	2178.63	3.14	8.15	1.03	0.079	0.1
2	52	22	2.627	4357.27	3.73	9.7	2.44	0.187	0.11
3	75	22	5.44	7.698	4.3	11.17	5	0.44	0.13
4	86	22	6.9	9295.51	4.51	11.7	6.3	0.6	0.14
5	109	22	10.2	12636.08	4.86	12.68	9.27	1.03	0.16
6	138	22	15.6	16848.12	5.24	13.6	13.25	2.35	0.23
7	161	22	22.4	20188.7	5.52	14.34	16.74	5.66	0.42
8	199	22	33.21	25707.9	5.82	15.12	22.48	10.73	0.54

**Сводная таблица (черная трубка)**

табл.4

N реж.	$t_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$	$W$	$Gr$	$Nu$	$\alpha$	$Q_k$	$Q_l$	$\varepsilon$	
1	33	22	0.8	1597.66	2.9	7.53	0.7	0.1	0.18
2	44	22	2.0	3289.31	3.483	9.048	1.672	0.328	0.27
3	47	22	2.4	3631.05	3.57	9.27	1.94	0.4	0.33
4	60	22	4.2	5681.54	4	10.4	3.32	0.88	0.4
5	63	22	4.64	5955	4.04	10.5	3.61	1.04	0.42
6	70	22	5.92	7176.68	4.234	11	4.43	1.49	0.5
7	80	22	7.92	8278.81	4.38	11.4	5.55	2.37	0.63
8	89	22	10.2	9731.24	4.568	11.87	6.68	3.52	0.7
9	100	22	13.56	11329	4.74	12.31	8.06	5.5	0.9

В результате получены следующие зависимости:

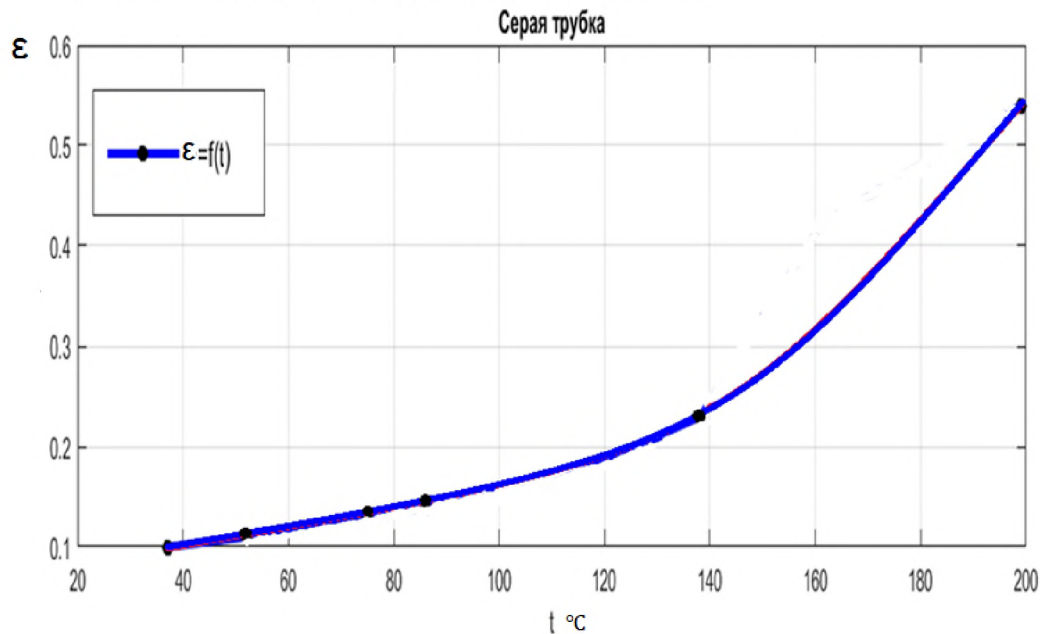


Рис.3. Зависимость степень черноты от температуры стенки трубы  $\epsilon=f(t)$

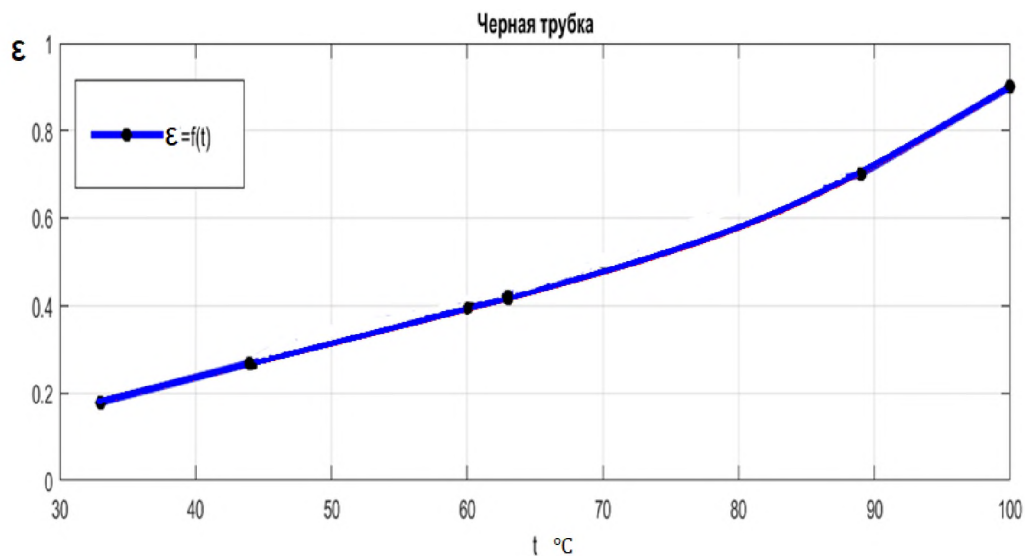


Рис.4. Зависимость степень черноты от температуры стенки трубы  $\epsilon=f(t)$

**Заключение.**

Из графика видно, что степень черноты  $\epsilon$  повышается с увеличением температуры стенки.

Создана экспериментальная установка, получены зависимость степени черноты  $\epsilon$  от температуры стенки серой трубки в интервале от 37<sup>0</sup>C до 199<sup>0</sup>C; а черной трубки от 33<sup>0</sup>C до 100<sup>0</sup>C.

Данная установка рекомендована в качестве лабораторной работы для исследования процессов конвективного теплообмена при естественной конвекции.

**Список литературы:**

1. Баскаков А.П., Гуревич М.И. Общая теплотехника.
2. Исаченко В.П., Сукомел А.С. Теплопередача.
3. Теплотехнический справочник
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.