

## Исследование теплового потока движения жидкости в трубе

*Ляпина Елизавета Сергеевна*

*Самарский государственный технический университет*

*магистрант*

*Никитин Максим Николаевич*

*Самарский государственный технический университет*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерные системы и природоохранное строительство»*

### Аннотация

В статье рассматриваются параметры течения теплоносителя в трубе. Разработана численная модель течения воды в горизонтальном канале, которая описывает параметры течения теплоносителя в канале при конвективном теплообмене. Заданы начальные и граничные условия для решения задачи в модуле Simulation Designer. Построен график зависимости теплового потока от температуры, на основании которого проведен анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** конвективный теплообмен, ламинарная модель турбулентности, стационарное течение, тепловой поток, численная модель.

## Study of the heat flow of fluid in the pipe

*Lyapina Elizaveta Sergeevna*

*Samara State Technical University*

*master student*

*Nikitin Maxim Nikolaevich*

*Samara State Technical University*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Systems and Environmental Protection Construction*

### Abstract

The article discusses the flow parameters of the coolant in the pipe. A numerical model of the flow of water in a horizontal channel has been developed, which describes the flow parameters of the coolant in the channel during convective heat exchange. The initial and boundary conditions are specified for solving the problem in the Simulation Designer module. A graph of heat flux versus temperature was constructed, based on which the obtained results were analyzed.

**Keywords:** convective heat transfer, laminar turbulence model, stationary flow, heat flux, numerical model.

Работа посвящена исследованию параметров теплового потока теплоносителя в трубе. Тема является актуальной, поскольку широко используется в различных сферах: для отвода тепла теплоносителя к грунтовым водам, в летний период времени используется в системах «холодный потолок» и «холодная батарея» и др.

Исследование проводилось для числа Рейнольдса, основанного на диаметре цилиндра в диапазоне  $10-40Re$ , тем самым подтверждая стационарное состояние среды. В качестве расчетной области выбран длинный горизонтальный круговой цилиндр, погруженный в равномерный свободный поток жидкости, имеющей разные скорости  $V_{1-3}$  (0,5; 1,0; 1,5 м/с) и температуры  $T_{1-3}$  (5; 10; 15°C).

Размеры свободного потока жидкости: 1 м x 0,5 м x 0,01 м; горизонтальный цилиндр: внешний диаметр  $d_{внеш} = 0,05$  м, внутренний -  $d_{вн} = 0,04$  м.

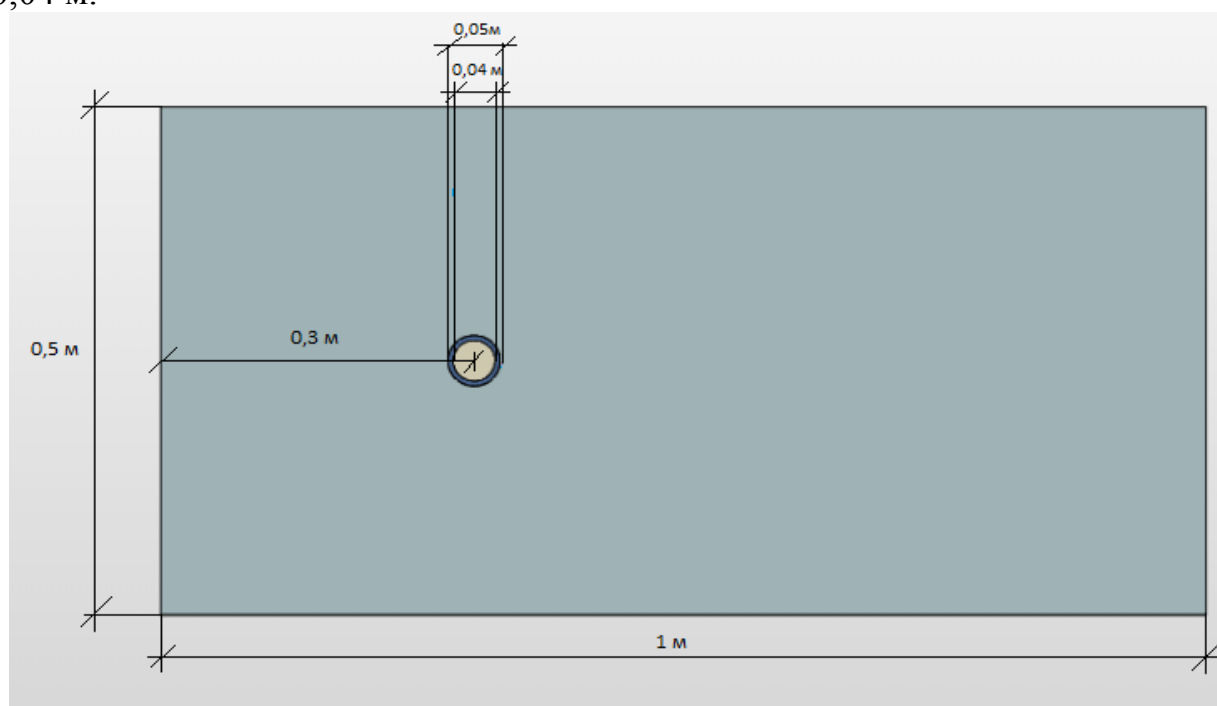


Рисунок 1. Геометрия расчетной области

В цилиндре также течет жидкость, имеющая скорость  $V_2$  (0,01 м/с) и температуру  $T_2$  (100°C).

Задано стационарное течение, алгоритм решения Simple, тип теплообмена – конвективный, модель турбулентности выбрана ламинарная при маленьких значениях  $Re$ . Пристеночные функции: пограничный слой вокруг трубы измельчен, для лучшего результата расчета, сетка построена со слоями вязкости.

Расчет численной модели производился в бесплатном облачном сервисе Simscale. Начальные и граничные условия моделирования задаются в модуле Simulation Designer.

Начальные и граничные условия:

Равномерный поток жидкости, в который погружен горизонтальный цилиндр.

Заданы следующие условия:

- вход (фиксированные температуры и скорости:  $V_1=0,5$  м/с,  $V_2=1$  м/с,  $V_3=1,5$  м/с;  $T_1=5^\circ\text{C}$ ,  $T_2=10^\circ\text{C}$ ,  $T_3=15^\circ\text{C}$ );

- выход – значение давления - фиксированное 101325 Па;

- симметрия (для двух вертикальных стенок);

- стенки (две горизонтальные): скорость среды задана со скольжением; стенки адиабатные;

Горизонтальный цилиндр (труба):

- вход: фиксированные скорость и температура - скорость по оси  $z$   $V_4=0,01$  м/с,  $T_4=100^\circ\text{C}$ .

- выход: значение давления - фиксированное 101325 Па.

Параметры сред и материалов.

- Свободный поток вокруг трубы, среда внутри горизонтального цилиндра-вода;

- Твердый материал (труба) – алюминий.

Параметры сред приведены на рисунках 2-3. Решатели и числовые параметры представлены на рисунках 4-5.

Name	Water
Thermo type	heRhoThermo
Mixture	pureMixture
Specie	specie
▼ Details	
Amount of substance [mol]	1
Molar weight [kg/kmol]	18
Transport	const
▼ Details	
Dynamic viscosity [Pa s]	0.000931297
Prandtl number	6.5241
Thermo	hConst
▼ Details	
Specific heat (Cp) [J/(kg K)]	4180
Heat of formation [J/kg]	-286000
Equation of state	perfectGas
▼ Details	
Energy	sensibleEnthalpy

Рисунок 2. Свободный поток вокруг трубы, среда внутри горизонтального цилиндра-вода

Name	Aluminum
Thermo type	heSolidThermo
Mixture	pureMixture
Specie	specie
▼ Details	
Amount of substance [mol]	1
Molar weight [kg/kmol]	26.98
Transport	constIso
▼ Details	
Kappa [W/(m K)]	0.052
Thermo	hConst
▼ Details	
Specific heat (Cp) [J/(kg K)]	897
Heat of formation [J/kg]	0
Equation of state	rhoConst
▼ Details	
Density [kg/m³]	2700
Energy	sensibleEnthalpy

Рисунок 3. Твердый материал (труба) - алюминий

Relaxation Automatic ▼

► Details

Momentum predictor On ▼

Number of non-orthogonal correctors 0

Minimal density [kg/m<sup>3</sup>] 0.5

Maximal density [kg/m<sup>3</sup>] 2

Pressure residual control

► Properties

Velocity residual control

► Properties

Pressure reference cell 0

Pressure reference value [Pa] 0

**Solver**

[rho] density solver GAMG ▼

► Details

[p\_rgh] modified pressure solver PCG ▼

► Details

[U] velocity solver Smooth solver ▼

► Details

Рисунок 4. Решатели

**Simulation Control**

Start time value [s] 0

End time value [s] 1000

Time step length [s] 1

Write control Timestep ▼

► Details

Number of computing cores 8 ▼

Maximum runtime [s] 30000

Algorithm used to decompose the domain Scotch ▼

Рисунок 5. Числовые параметры

Результаты расчета. Расчет велся в облачном сервисе Simscale на сетке very coarse с количеством элементов 218.078, начальные и граничные условия и параметры приведены выше. В результате расчета получено 9 решений при разных температурах и скоростях (Рисунок 6).

$$Q_{T'}^V = G_{вн} \cdot c_p \cdot (T'_{вн} - T''_{вн}) = V \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T'_{вн} - T''_{вн}),$$

где  $G_{вн}$  – массовый расход, [кг/с],

$c_p$  – удельная теплоемкость вещества, [Дж/кг·К],

$T'_{вн}, T''_{вн}$  – температура на входе и на выходе из трубы, [К],

$V$  – скорость жидкости в трубе, [м/с],

$d$  – внутренний диаметр трубы, [м].

$$q = Q/L,$$

где  $Q$  – теплопроводность, [Вт/(м·К)],

$L$  – ширина зоны свободного потока жидкости, [м], ( $L=0,01$  м)

Таблица 1 – Результаты расчета

T/V	0,5	1	1,5
5	33818	34346	34874
10	32000	32761	33289
15	30119	30647	31176

Точки мониторинга: для анализа полученных результатов выборочно выбираем 3 точки (при  $T=12^\circ\text{C}$ ).

Из графика на рисунке 6 видно, что в точке при  $T=12^{\circ}\text{C}$  свободный поток жидкости со скоростью на входе  $V=0,5\text{ м/с}$  будет иметь значение теплового потока  $q=31150\text{ Вт}$ ;

при  $V=1\text{ м/с}$  значение теплового потока  $q=32000\text{ Вт}$ ;

при  $V=1,5\text{ м/с}$  значение теплового потока  $q=32450\text{ Вт}$ .

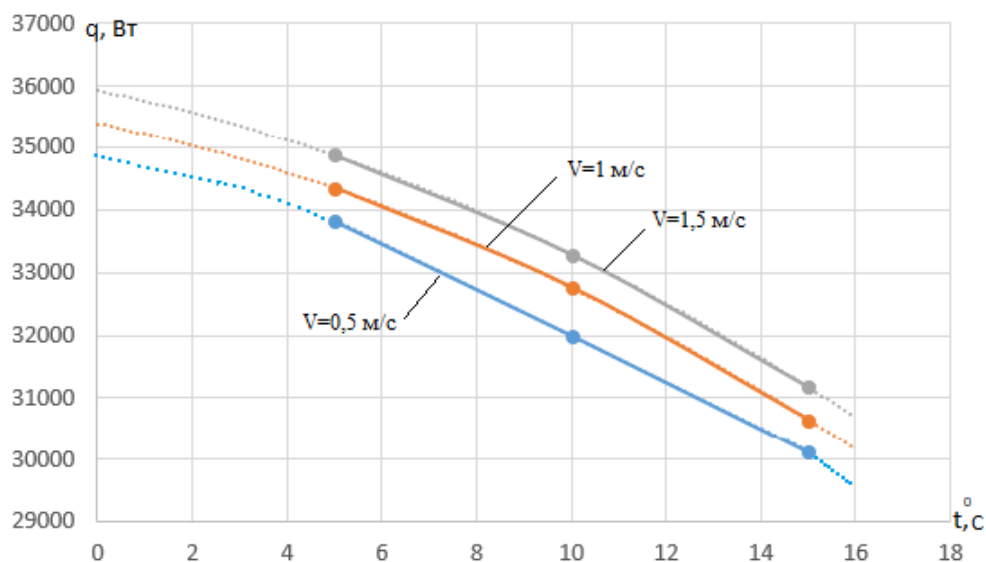


Рисунок 6. График зависимости теплового потока от температуры для трех скоростей

По этим данным можно сделать вывод, что при увеличении температуры омывающего потока воды, тепловой поток будет убывать, график будет иметь нелинейную зависимость.

### Библиографический список

1. Vessakosol P., Charoensuk J. Numerical analysis of heat transfer and flow field around cross-flow heat exchanger tube with fouling // Applied Thermal Engineering. 2010. №30. С. 1170-1178.
2. Никитин М. Н. Сравнительный анализ численного моделирования естественной конвекции в программных пакетах ANSYS Fluent, Code Saturne и OpenFOAM/ М. Н. Никитин // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. Т. 23, № 2. С. 124-128. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.22
3. Simscale URL: <https://www.simscale.com> (дата обращения 27.12.2018)
4. Onshape URL: <https://www.onshape.com/> (дата обращения 27.12.2018)
5. Openfoam URL: <https://openfoam.org/> (дата обращения 27.12.2018)