

УДК 621.51

*Васильев Антон Александрович,  
студент,*

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский  
университет)»  
Россия, г. Москва*

## **РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ЭТИЛЕНА СВЕРХВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

***Аннотация:** Данная статья посвящена исследованию методики расчета конечного теплообменного аппарата охлаждения газообразного этилена. С помощью метода конечных элементов был проведен расчет охлаждения газа в круглой и оребренной трубе.*

***Ключевые слова:** Аппарат теплообменный, метод конечных элементов, поршневой компрессор, тепловой поток, цифровая модель.*

## **DEVELOPMENT OF A DIGITAL MODEL OF A STAGE OF AN ULTRA-HIGH-PRESSURE PISTON COMPRESSOR**

***Abstract:** Compressor stations and compressor units operated at machine-building enterprises are equipped with intermediate and end heat exchangers for cooling the compressed gas to the temperature required by the technical process. Design of high and ultra-high pressure compressor units requires selection of special cooling equipment designed to operate at such pressures. The nature of the heat exchange processes at ultra-high flow pressures complicates the process of calculating heat exchangers.*

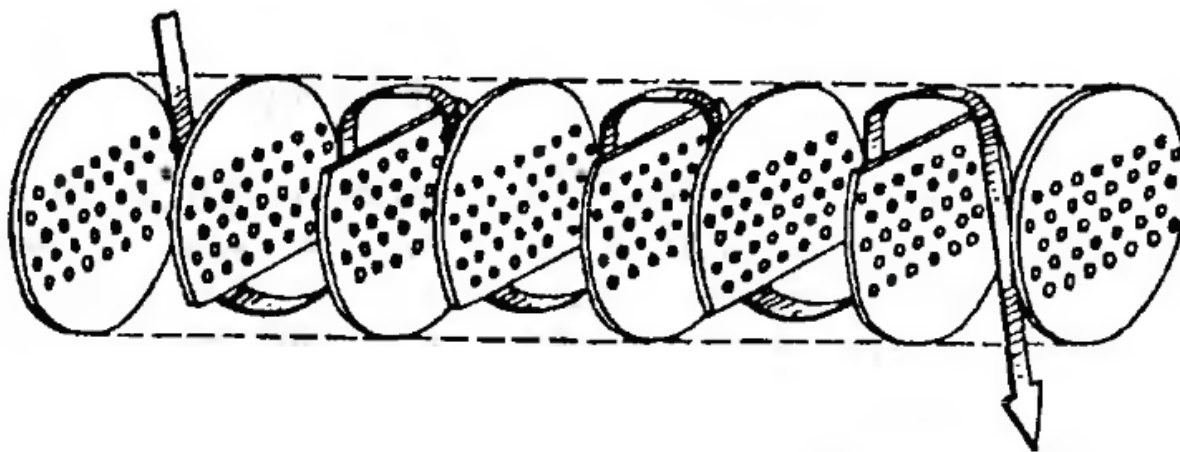
*Heat exchangers are designed for high and ultra-high pressure compressors, in which a row of tubes is located inside a common housing. The cooled gas flows inside the tubes, and the coolant flows outside (Figure 1).*

**Keywords:** *Heat exchange apparatus, finite element method, piston compressor, heat flux, digital model.*

Введение: Компрессорные станции и компрессорные установки, эксплуатирующиеся на машиностроительных предприятиях, комплектуются промежуточными и концевыми теплообменными аппаратами для охлаждения сжимаемого газа до требуемой техническим процессом температуры [1]. Проектирование компрессорных установок высокого и сверхвысокого давления требует подбора специального охлаждающего оборудования, предназначенного для работы при таких давлениях. Характер протекания теплообменных процессов при сверхвысоких давлениях потока усложняет процесс расчета теплообменных аппаратов.

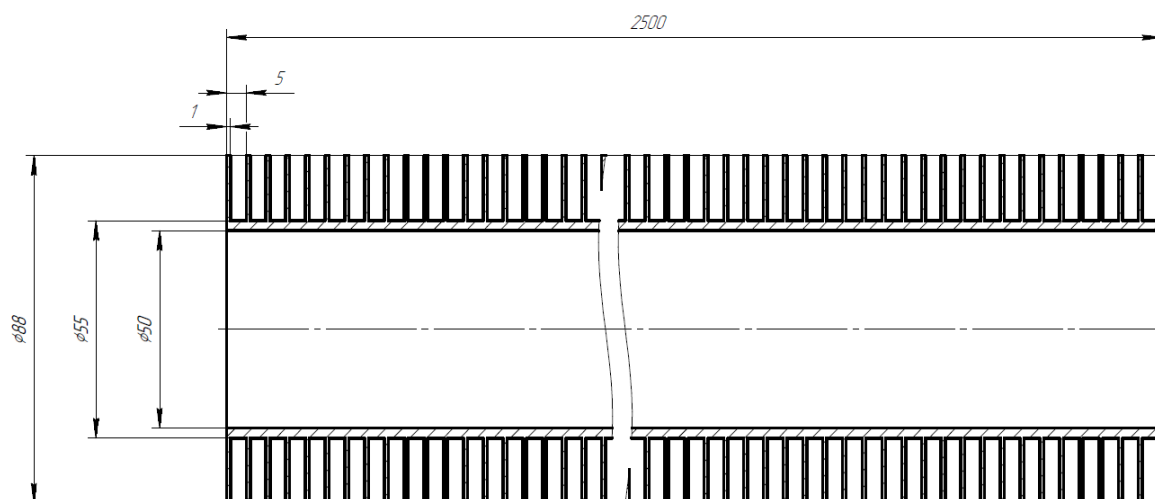
Для компрессоров высокого и сверхвысокого давления конструируются теплообменные аппараты, в которых ряд трубок располагается внутри общего корпуса. Охлаждаемый газ течет внутри трубок, охлаждающая жидкость находится снаружи (рисунок 1).

Основная часть: В целях проведения газодинамических расчетов были построены 3D модели круглой трубы и трубы с наружным оребрением (рисунок 2).



*Рисунок 1. Схематичное изображение кожухотрубного теплообменного аппарата*

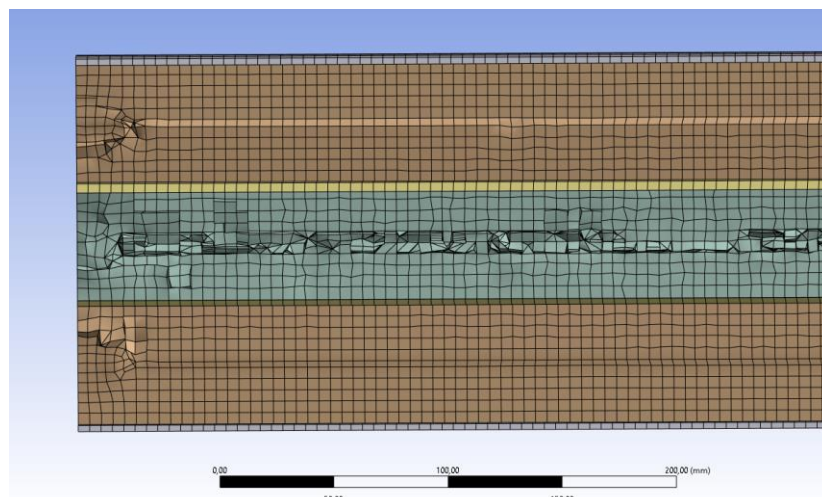
Материал изготовления трубок – алюминиевый сплав. В качестве рабочего тела внутри трубки – этилен газообразный, рабочее тело охлаждающей жидкости снаружи трубки – вода. Температура газа на входе – 414 градусов Кельвина, температура воды на входе – 287 градусов Кельвина. Массовый расход газа на входе – 0,068 кг/с. Массовый расход воды на входе – 0,1 кг/с.



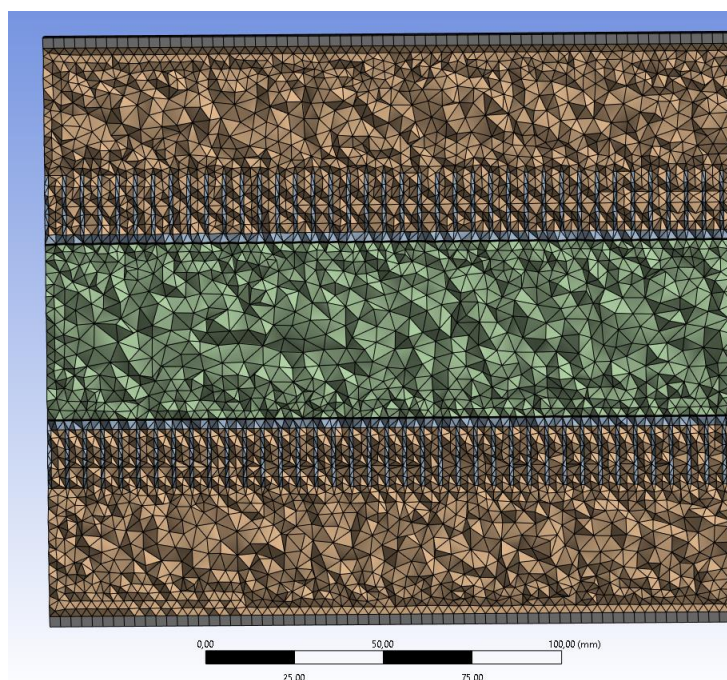
*Рисунок 2. Фрагмент чертежа трубы с наружным оребрением*

Газодинамический расчет проводился с помощью метода конечных элементов. В качестве модели турбулентности использовалась модель SST.

Изображение сеточной модели газодинамической области обтекания газа внутри трубки и охлаждающей жидкости снаружи представлено на рисунках 3 и 4, для круглой и оребренной трубы соответственно.



*Рисунок 3. Сеточная модель расчетной области круглой трубы*



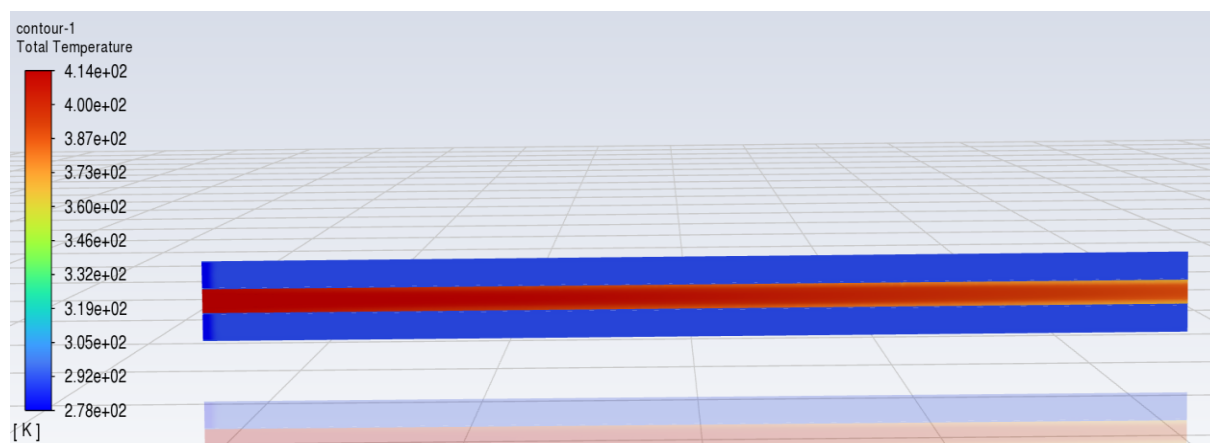
*Рисунок 4. Сеточная модель расчетной области оребренной трубы*

Моделирование работы трубки теплообменного аппарата осуществлялось как для случая идеального, так и для случая реального газа.

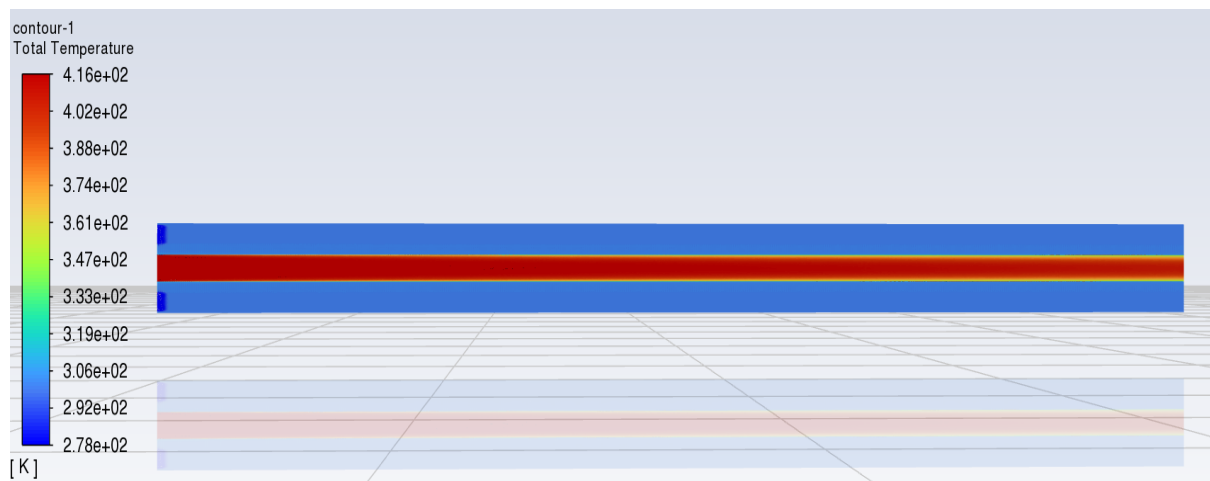
Уравнение состояния реального газа Редлиха-Квонга имеет вид [2]:

$$P = \frac{R \cdot T}{V - b} - \frac{a}{T^{0.5} \cdot V \cdot (V + b)}$$

Картины распределения полной температуры в поперечном сечении круглой трубы и ребренной трубы показаны на рисунках 5 и 6.



***Рисунок 5. Картина распределения полной температуры в поперечном сечении круглой трубы***



***Рисунок 6. Картина распределения полной температуры в поперечном сечении ребренной трубы***

Результаты расчета представлены в таблице 1.

*Таблица 1.*

**Результаты расчета**

	<b>Температура газа на выходе, К</b>	<b>Тепловой поток на стенке трубы со стороны газа, Вт/м<sup>2</sup></b>	<b>Тепловой поток на стенке трубы со стороны воды, Вт/м<sup>2</sup></b>	<b>Температура воды на выходе, К</b>
<b>Труба круглого сечения, идеальный газ</b>	<b>378</b>	<b>13797</b>	<b>1396</b>	<b>291</b>
<b>Труба круглого сечения, реальный газ</b>	<b>379</b>	<b>14184</b>	<b>1395</b>	<b>272</b>
<b>Оребренная труба, идеальный газ</b>	<b>375</b>	<b>11044</b>	<b>1033</b>	<b>299</b>
<b>Оребренная труба, реальный газ</b>	<b>370</b>	<b>9685</b>	<b>901</b>	<b>293</b>

После проведения газодинамического расчета для оребренной трубы и определения параметров газа на выходном сечении и параметров теплового потока на стенке трубы был проведен расчет трубы круглого сечения. При этом, в качестве исходных данных, было задано значение теплового потока, полученное в ходе расчета оребренной трубы.

Целью данного расчета является исследование возможности замены сложной геометрии оребренной трубы на трубу круглого сечения при определении газодинамических характеристик теплообменного аппарата. Преимуществом подобного способа является пониженное значение требуемых вычислительных мощностей.

Результатами данного расчета являются следующие данные: температура газа на выходе - 372 К, температура воды на выходе – 295 К.

Заключение: Сравнение результатов моделирования работы трубки охлаждения кожухотрубного теплообменного аппарата показывает различие в параметрах газа и охлаждающей жидкости и параметрах теплового потока стенки трубы для четырех расчётных случаев.

Моделирование работы круглой трубы теплообменного аппарата с исходными данными, полученными в ходе расчета оребренной трубы, показывает возможность создания цифровой модели теплообменного аппарата с упрощенной сеточной моделью.

Целью дальнейших исследований может быть моделирование работы полного теплообменного аппарата с круглой и оребренной трубой.

#### **Литература:**

1. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет. – 3-е изд., доп. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
2. Nasri Z., Binous H. Applications of the SoaveRedlich Kwong Equation of State Using Mathematica // J. Chem. Eng. Japan. 2007. V. 40. № 6. P. 534.