**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | «А» |  | Ракетно-космической техники |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | «А9» |  | Баллистика и гидроаэродинамика |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Внутренняя газодинамика энергоустановок | | |

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему

|  |
| --- |
| Численное моделирование |
| процессов теплообмена кожухотрубного |
| теплообменного аппарата |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | | А9М32 |
| Веселова А.В. | | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | | |
| Овчинникова О.К. | |  |  | | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | | |
| Оценка |  | | | |  | |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 20\_\_\_\_ г. | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

20\_\_\_\_г.

лист задания

РЕФЕРАТ

В данном курсовом проекте проводится численное моделирование программой MS Excel, численное моделирование в программном пакете SolidWorks. Проводится сравнение результатом и выбор оптимальной компоновки и геометрических размеров теплообменного аппарата кожухотрубного типа.

ТЕПЛООБМЕН, ТЕПЛООБМЕННИК КОЖУХОТРУБНОГО ТИПА, КОМПОНОВКА «ТРУБА В ТРУБЕ», ШАХМАТНАЯ КОМПОНОВКА, ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ, ТЕПЛНОСИТЕЛЬ, SOLIDWORKS, ПРОГРЕВ КОНСТРУКЦИИ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Пояснительная записка 31 страниц, 17 рисунков, 11 источников литературы, 0 приложение.

Содержание

[Условные обозначения 5](#_Toc517819991)

[Введение 7](#_Toc517819992)

[1 Теплообменные аппараты кожухотрубного типа 8](#_Toc517819993)

[2 Численное решение задачи 12](#_Toc517819994)

[2.1 Задание для численного решения задачи 12](#_Toc517819995)

[2.2 Численные соотношения 13](#_Toc517819996)

[2.3 Результаты численного решения 17](#_Toc517819997)

[3 Численное моделирование в среде Solid Works 21](#_Toc517819998)

[3.1 Численное моделирование ТОА с компоновкой «Труба в трубе» 21](#_Toc517819999)

[3.2 Результаты численного моделирования задачи 22](#_Toc517820000)

[3.3 Численное моделирование ТОА с шахматной компоновкой 26](#_Toc517820001)

[3.4 Результаты численного моделирования 26](#_Toc517820002)

[Заключение 30](#_Toc517820003)

[Список использованной литературы 31](#_Toc517820004)

# Условные обозначения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Ci* | *–* | Полная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг∙К) |
| *Cpi* | *–* | Теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг∙К) |
| *Di* | *–* | Внешний диаметр трубы, мм |
| *di* | *–* | Внутренний диаметр трубы, мм |
| *dэ* | *–* | Эквивалентный диаметр, мм |
| *Fi* | *–* | Площадь теплообменного аппарата (ТОА), м2 |
| *Gi* | *–* | Расход теплоносителя, кг/с |
| *gi* | *–* | Массовые доли компонентов теплоносителей |
| *Ki* | *–* | Коэффициент |
| *Li* | *–* | Длина ТОА, м |
| *Mi* | *–* | Молярная масса компонента теплоносителя, г/моль |
| *Nui* | *–* | Число (критерий) Нуссельта |
| *Pri* | *–* | Число (критерий) Прандтля |
| *Qi* | *–* | Тепловой поток, кВт |
| *Ri* | *–* | Газовая постоянная компонента теплоносителя, Дж/кг К |
| *ri* | *–* | Объемные доли компонентов теплоносителя |
| *Rei* | *–* | Число (критерий) Рейнольдса |
| *s* | *–* | Продольный шаг, мм |
| *s2* | *–* | Поперечный шаг, мм |
| *s2\** | *–* | Диагональный шаг, мм |
| *Ti* | *–* | Температура теплоносителя, К |
|  | *–* | Средняя температура теплоносителя, К |
| *∆Ti* | *–* | Тепловой напор, К |
| *α* | *–* | Коэффициент теплоотдачи |
| *δ* | *–* | Толщина стенки трубы, мм |
| *δTi* | *–* | Изменение температур теплоносителя |
| *T10* | *–* | Температура на входе горячего теплоносителя, К |
| *T1f* | *–* | Температура на выходе горячего теплоносителя, К |
| *T20* | *–* | Температура на входя холодного теплоносителя, К |
| *T2f* | *–* | Температура на выходе холодного теплоносителя, К |
| π | *–* | Число Пи |
| *μ* | *–* | Коэффициент динамической вязкости, Па∙сек |
| *λ* | *–* | Коэффициент теплопроводности, Вт/м∙К |
| *n* | *–* | Общее число труб, шт. |

# Введение

В данном курсовом проекте рассматривается численное моделирование процессов теплопередачи на примере кожухотрубного аппарата. Производится сравнение прямых численных расчетов и расчетами моделирования процессов. Основой для проектирования служит расчетная работа «Проектирование кожухотрубного аппарата».

В ходе выполнения курсового проекта производится ознакомление с новым программным пакетом для моделирования, построение геометрии, построение расчетной сетки SolidWorks.

Целью курсового проекта:

– на простейшем примере провести моделирования процессов теплообмена, для дальнейшего проектирования ядерного реактора.

Задачами проекта являются:

1. Провести численный расчет параметров теплообменного аппарата:

– определить расход теплоносителя;

– рассчитать площадь рабочей поверхности ТОА;

– определить оптимальный размер ТОА.

1. Провести моделирование ТОА;
2. Сравнить результаты расчета с результаты моделирования.

Численный расчет производится с использованием программного пакета MS Excel. Моделирование ТОА проводится в программном пакете SolidWorks.

# Теплообменные аппараты кожухотрубного типа

Теплообменными аппаратами (ТОА) или теплообменниками называются устройства, предназначенные для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. Под теплоносителем будем понимать поток газа или капельной жидкости, нагреваемый и/или охлаждаемый в ТОА.

Теплообмен между теплоносителями — один из наиболее важных и часто используемых в технике и в энергетике процессов [1]. Теплообмен между продуктами сгорания и воздухом осуществляется в специальном теплообменнике. Большую роль играют теплообменники различного типа в энергетических системах, основанных на применении пара, прежде всего, пара воды. Пар воды — рабочее тело в паротурбинных установках, являющихся основой современной энергетики.

По способу передачи теплоты различают поверхностные и смесительные (контактные) ТОА.

В смесительных ТОА теплота передаётся в результате смешения двух теплоносителей, горячего и холодного. Типичные примеры таких теплообменников — градирни тепловых электрических станций. В объёме градирни холодный атмосферный воздух соприкасается с горячей водой и перемешивается с паром, оставшимся после конденсатора, охлаждая его.

В ТОА поверхностного типа теплообмен осуществляется через стенку, разделяющую теплоносители и называемую рабочей поверхностью теплообменника. Поверхностные ТОА могут быть с двумя и одним теплоносителем. В последнем случае нагрев или охлаждение теплоносителя происходит на поверхности теплообменника за счёт внутренних источников теплоты (тепловыделяющих элементов, например электрические или ядерные ТВЭлы). Поверхностные ТОА с двумя теплоносителями разделяют на регенераторы и рекуператоры.

Регенераторы — ТОА, в которых рабочая поверхность находится попеременно в контакте то с горячим, то с холодным теплоносителем, передавая ему аккумулированную теплоту. Теплообмен происходит в нестационарных условиях. Типичный пример регенерации теплоты — воздухоподогреватели мартеновских и доменных печей, циклически нагреваемые газами этих производств.

К рекуперативным ТОА можно отнести также теплообменники с промежуточным теплоносителем, циркулирующим по замкнутому контуру между зонами горячего и холодного теплоносителей. Разновидностью таких теплоносителей является тепловая труба.

Рекуперативные ТОА — это устройства, в которых два теплоносителя с различными температурами текут в пространстве, разделённом твёрдой стенкой. Они основаны на принципе теплопередачи через рабочую поверхность теплообменника в стационарном, непрерывном процессе. Примеры таких аппаратов:   котлы, генераторы пара, подогреватели, конденсаторы, выпарные аппараты различного назначения и т.д.

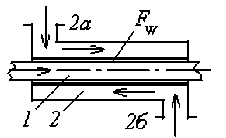


Рисунок 1.1 – Схема ТОА «труба в трубе»

Наиболее широкое применение находят рекуперативные ТОА, условно названные «труба в трубе» и рекуператоры кожухотрубного типа. На рис. 1.1 показана схема теплообменника «труба в трубе». По центральному каналу (по трубе 1) течёт, как правило, более горячий теплоноситель с массовым расходом *Gi* и температурой *Т01* на входе в ТОА. По периферийному кольцевому каналу 2 течёт менее нагретый (холодный) теплоноситель (индекс 2 у аналогичных параметров потока). В силу разности температуры теплоносителей через рабочую поверхность *Fw* теплообменника (на схеме эта поверхность выделена жирной линией) передаётся тепловой поток *Q,*т.е. осуществляется теплопередача между двумя теплоносителями. При этом вдоль по поверхности теплообмена температура горячего теплоносителя убывает, а изменение температуры холодного теплоносителя и интенсивность теплообмена на обеих поверхностях трубы будут зависеть от конкретных условий, определяемых характеристикой ТОА.

Схемы движения теплоносителей в ТОА подразделяют в зависимости от относительного направления на прямоточные и противоточные.

На рис. 1.2 приведена простейшая схема кожухотрубного ТОА. Течение одного из теплоносителей организовано по трубам 1, собранным в так называемый пучок (на схеме пучок состоит из пяти труб). Пучок труб помещён в трубу большого диаметра (*2),*облегающую пучок по его периферии и названную кожухом. В зависимости от относительной длины труб схема течения теплоносителей в кожухотрубном теплообменнике может быть с продольным и поперечным обтеканием труб в пучке. Продольное обтекание может быть организовано в режиме прямотока или противотока теплоносителей. На рис. 1.2 показан случай, когда длина труб сопоставима с диаметром кожуха, при этом реализуется схема поперечного обтекания пучка труб.

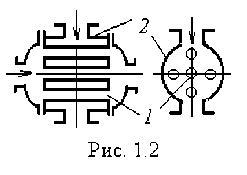


Рисунок 1.2 – ТОА с поперечным обтеканием пучка труб

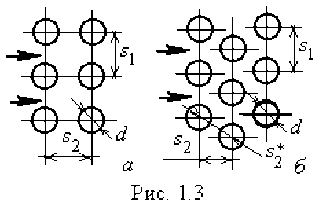


Рисунок 1.3 – Компоновка труб в ТОА (а – коридорная, б – шахматная)

Расположение труб в пучке при поперечном его обтекании, имеет большое влияние на интенсивность теплоотдачи с поверхности труб. Разделяют коридорное (а) и шахматное *(б)* расположение труб в пучке (рис. 1.3). Компоновка или плотность труб в пучке зависит от следующих характерных размеров: диаметра труб *d*, поперечных *s* и продольных *s2*шагов труб относительно направления потока теплоносителя. Шахматная схема труб в пучке дополнительно характеризуется диагональным шагом *s2\*,* она обеспечивает более плотное их расположение, чем коридорная, что не может не отразиться на интенсивности теплоотдачи.

# Численное решение задачи

На данном этапе курсового проекта производится прямое численное решение поставленной задачи. Приводятся расчетные соотношения для вычисления расчетных параметров необходимых для последующих этапов. Расчет проводится с использование программного пакета MS Excel.

## **Задание для численного решения задачи**

Продукты сгорания (ПС) топлива на выходе из газотурбинной установки (ГТУ) в зависимости от режимов её работы имеют температуру *Т10* Ки массовый расход *G1.* Состав ПС известен и задан массо­выми *gj* (весовыми) долями.

Для использования теплосодержания ПС на выходе из ГТУ установлена регенеративная установка в виде теплообменного аппарата (ТОА) типа «труба в трубе». Заданы внешний диаметр внутренней трубы *d,* толщина стенки трубы Δи внутренний диаметр внешней трубы *D.* Температура ПС на выходе из ТОА должна быть не менее *T*2F*,* так как предусмотрено дальнейшее их использование в тех­нологическом процессе. Нагреваемый теплоноситель - вода с температурой на входе в ТОА *Т*20. Температура воды на выходе из ТОА должна быть не ниже заданного значения *Т*2F. На данном этапе необходимо определить:

1. Расход воды *G2* кг/с, который возможно нагреть при заданных условиях.

2. Рассчитать площадь рабочей поверхности ТОА.

3. Сравнить размеры рабочей поверхности ТОА в схемах «прямоток» и «противоток». Входные параметры представлены в табл. 2.1.1.

Таблица 2.1.1

Первоначальные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| СО2 | Н2О | N2 | *T10*, К | *T1f*, К | *T20,* К | *T2f*, К | *G*, кг/с | *d*, мм | *δ*, мм | *D,*мм |
| 50 | 30 | 20 | 873 | 423 | 293 | 463 | 0,9 | 15 | 3 | 25 |

## **Численные соотношения**

1. Произведем расчет теплообменного аппарата "труба в трубе".

Запишем уравнение сохранение энергии (уравнение теплового баланса):



*- Q* - тепловой поток, кВт;

*- Сi*- полная теплоемкость теплоносителя (определяем по таблице), кДж/(кг∙К);

*- ∆Ti*- температурный напор, ̊С.

*- Gi* - расход теплоносителя, кг/с.

Обозначим индексом *1* - горючий теплоноситель (продукты сгорания), *2* - холодный теплоноситель (вода).

Рассмотрим данное уравнение применительно к продуктам сгорания. Для этого необходимо определить теплофизические параметры смеси газов. Определим среднюю температуру горячего теплоносителя:



Найдем молярную массу смеси:



газовая постоянная смеси:



переход от массовых долей к объемным:



теплоемкость смеси:



коэффициент теплопроводности смеси:



коэффициент динамической вязкости смеси:



критерий Прандтля смеси:



Таблица 2.2.1

Параметры смеси при температуре 558 ̊ K

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Газ | Массовые доли *g* | Молярная масса *М г/моль* | Теплоем- кость *Cp Дж/кг∙К* | Теплопро -водность *λ Вт/м∙К* | Вязкость  *μ, Па∙сек* | Объемные доли *r* |
| CO2 | 0,5 | 44 | 1095,008 | 0,0582 | 268,3∙10-6 | 0,323 |
| H2О | 0,3 | 18 | 1935,38 | 0,0780 | 3,19∙10-6 | 0,474 |
| N2 | 0,2 | 28 | 1010,215 | 0,0592 | 385,45∙10-6 | 0,203 |
| Смесь | - | 28,431 | 1347 | 0,066 | 1,021∙10-6 | 1 |

Определим теплофизические параметры воды при средней температуре:



Таблица 2.2.2

Теплофизические параметры воды

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Теплоемкость,  *Cp, Дж/кг∙К* | Теплопроводность  *λ, Вт/м∙К* | Вязкость  *μ, Па∙сек* | Число Прандтля |
| 4178 | 0,066 | 4,78∙10-6 | 2,98 |

Перейдем к расчету теплообменного аппарата "труба в трубе".

Определяем конечные изменения температур теплоносителей:





Пользуясь уравнением теплового баланса, определяем при данном расходе продуктов сгорания тепловую нагрузку на теплообменный аппарат.



Теплового поток на внутренней стороне будет описываться:

Можем заметь, что в данной задаче передача тепло излучением очень мала и заметного влияния на геометрические и тепловые особенности не будет.

Из условия теплового баланса определяем по величине Q необходимый расход воды:



Определим режим течения теплоносителя в каналах ТОА, учитывая различие их эффективных размеров (для трубы по которой движутся ПС *dэ=d*, для кольцевого канала по которому движется вода *dэ=D+d2*, где *d2=d+2∙∆*)





Отсюда мы видим, что режим течения обоих теплоносителей — турбулентный.

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи воды и ПС, используя критериальное уравнение теплоотдачи при турбулентном режиме течения.

, где



Определим коэффициенты теплоотдачи:



Рассчитаем осредненное значение коэффициента теплоотдачи ТОА:



из уравнения теплового напора определяем его среднелогарифмическую величину:

- в случае противотока , где

- - входной температурный напор

-  - выходной температурный напор.

- в случае прямотока , где

- - входной температурный напор

-  - выходной температурный напор.

По уравнению теплоотдачи определим площадь рабочей поверхности ТОА при прямотоке:



Длина ТОА при прямотоке:

.

Рассмотрим геометрические размеры при противотоке:





## **Результаты численного решения**

После выполнения компоновочных расчетов теплообменного аппарата для всех компоновок проанализируем выбранные варианты и выявим наилучшим.

Так как одним из главным параметром оценивания теплообменника является его длина, то рассмотрим график 2.3.1.

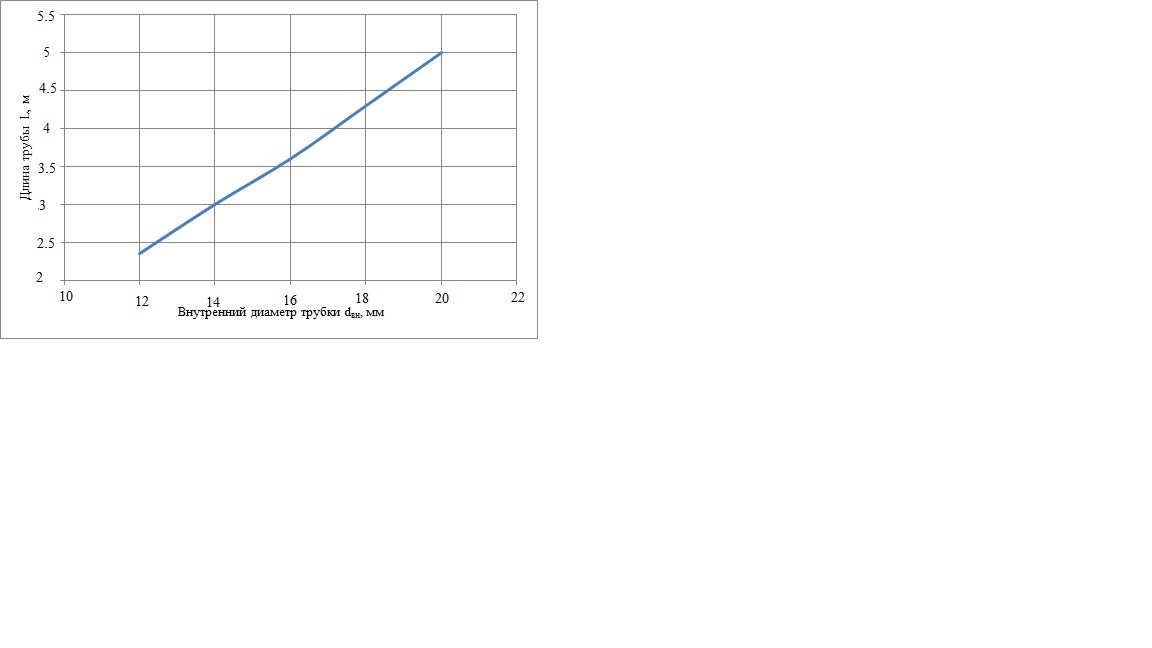


График 2.3.1 – Зависимость изменения длины ТОА от внутреннего диаметра трубы

По данному графику можем сделать следующий вывод, для сокращения длины теплообменника нам необходимо принимать внутренний диаметр наиболее меньший, т.к. нецелесообразно использовать очень длинный теплообменный аппарат из-за стоимости материала и его производства.

Уменьшая внутренний диаметр необходимо следить за скоростью движения теплоносителей, рассмотрим данное изменение на графике зависимости, что в свою очередь будет влиять на коэффициент теплоотдачи.

Рассмотрим полученные данные при проектировании кожухотрубного ТОА (рис.2.3.2). Графики получены при использовании программного комплекса Mathlab заимствованной в книге [8]. В данной программе производится численное программное моделирования схожей задачи, только целью является определение оптимального диаметра трубок ТОА для обеспечения необходимого режима.

Данный график показывает нам зависимость длины теплообменного аппарата в зависимости от числа труб различного диаметра. По условиям оптимизации проектирования, длина аппарата не должна выходить за пределы 3 м.

Таким образом, мы видим, что необходимое условие выполняется при всех выбранных диаметров труб. Диаметры труб выбраны при помощи справочника 14х1, 16х1, 19х1 мм [7]. Необходимо заметить, что для выбора количества труб, нужно обратить внимание на тепловые показатели, показатели мощности и других геометрических параметров.

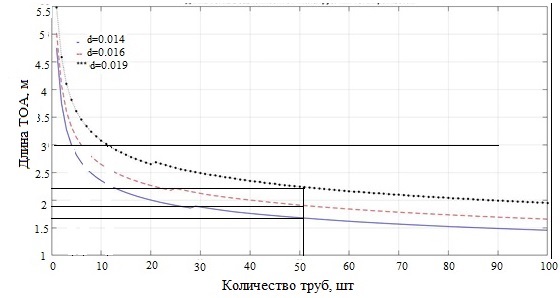


Рисунок 2.4.1 – Зависимость длины ТОА от числа труб

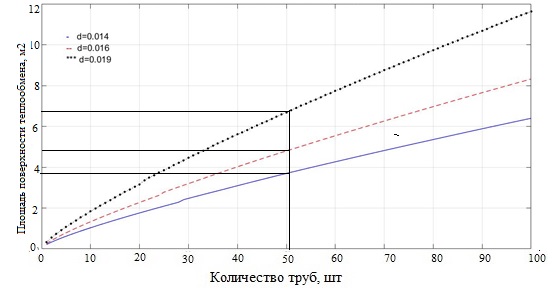


Рисунок 2.4.2 – Зависимость площади теплообмена от числа труб

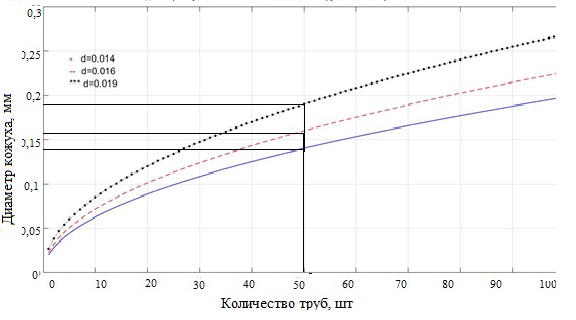


Рисунок 2.4.3 – Зависимость диаметра кожуха от числа труб

Приведем полученные данные в сводную табл.2.4.1.

Таблица 2.4.1

Сводная таблица лучших результатов расчета

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | Труба в трубе прямоток | Труба в трубе противоток | Трубный пучок прямоток | Трубный пучок противоток |
| *dвн*, мм | 150 | 120 | 14 | 14 |
| *D,* мм | 200 | 200 | 150 | 140 |
| *α1*, Вт/м2∙К | 523,041 | 556,58 | 360 | 365 |
| *α2*, Вт/м2∙К | 1885,2 | 1986,4 | 1663 | 1678 |
| *К*, Вт/м2∙К | 260,756 | 278,86 | 230,56 | 246,85 |
| *FТА*, м2 | 0,4 | 0,25 | 4 | 3,62 |
| *L*, м | 8,49 | 5,282 | 1,93 | 1,75 |
| *Nсум*, Вт | 7,17∙105 | 4,74∙105 | 2252 | 1762 |

Из всего выше представленного, наилучшим кожухотрубный теплообменный аппарат является ТОА с шахматной компоновкой с общим числом труб равным 52 шт с диаметром 14 мм противоточного типа. Данный выбор из следующих заключений:

– Длина ТОА не выходит за пределы;

–Наименьшая суммарная мощность необходимая на прокачку теплоносителей;

– Коэффициент теплопередачи соизмерим с коэффициентом теплопередачи при ТОА труба в трубе.

# Численное моделирование в среде Solid Works

SolidWorks – программный комплекс [САПР](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%90%D0%9F%D0%A0) для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Работает в среде [Microsoft Windows](https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Windows). Разработан компанией [SolidWorks Corporation](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=SolidWorks_Corporation&action=edit&redlink=1), созданной с нуля Джоном Хирштиком

Решаемые задачи:

1. Конструкторская подготовка производства (КПП):

* [3D](https://ru.wikipedia.org/wiki/3D) [проектирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учётом специфики изготовления;
* Создание конструкторской документации в строгом соответствии с [ГОСТ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2);
* [Промышленный дизайн](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D0%B9%D0%BD);
* [Обратная разработка](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0);

– Проектирование коммуникаций ([электрожгуты](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%B3%D1%83%D1%82&action=edit&redlink=1" \o "Электрожгут (страница отсутствует)), [трубопроводы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4) и пр.).

1. Инженерныйанализ [прочность](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), [устойчивость](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C), [теплопередача](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0), [частотный анализ](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7), динамика механизмов, [газо](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7)/[гидродинамика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0), [оптика](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0) и [светотехника](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0), электромагнитные расчеты, анализ размерных цепей и пр.)

Система включает программные модули собственной разработки, а также сертифицированное ПО от специализированных разработчиков (SolidWorks Gold Partners).

## **Численное моделирование ТОА с компоновкой «Труба в трубе»**

Компоновка «Труба в трубе» характерна тем, что мы имеем две трубы разных диаметров. Диаметр с меньшим диаметром располагается в трубе с большим диаметром.

Для численного моделирования был выбран программный пакет SolidWorks.

Таким образом, в данном пакете моделируется наилучшей результат численного решения, а именно строятся две трубы диаметром 150 мм (внутренняя) и 200 мм (внешняя). Во внутреннюю трубу подаются продукты сгорания с соответствующими термодинамическими характеристиками и с температурой текучей среды равной 873 К.

Омываемый внутреннюю трубу поток воды подается с соответствующими его характеристиками с температурой равной нормальным условиям 293 К. Производится расчет противоточного движения теплоносителей.

Сравниваемым параметром является тепловая нагрузка на теплообменный аппарат, температуры на входе и выходе из теплообменного аппарата.

## **Результаты численного моделирования задачи**

Рассмотрим подробно полученные результаты моделирования. На рис. 3.1.1 представлена геометрия ТОА. Как было сказано выше, моделируется противоток. Длина ТОА составляет 5,5 м. Расчет производится при использовании осесимметричной постановке задачи для ускорения процесса расчета и экономии ресурса вычислительной машины. Общее количество ячеек сетки составляет 1005243.

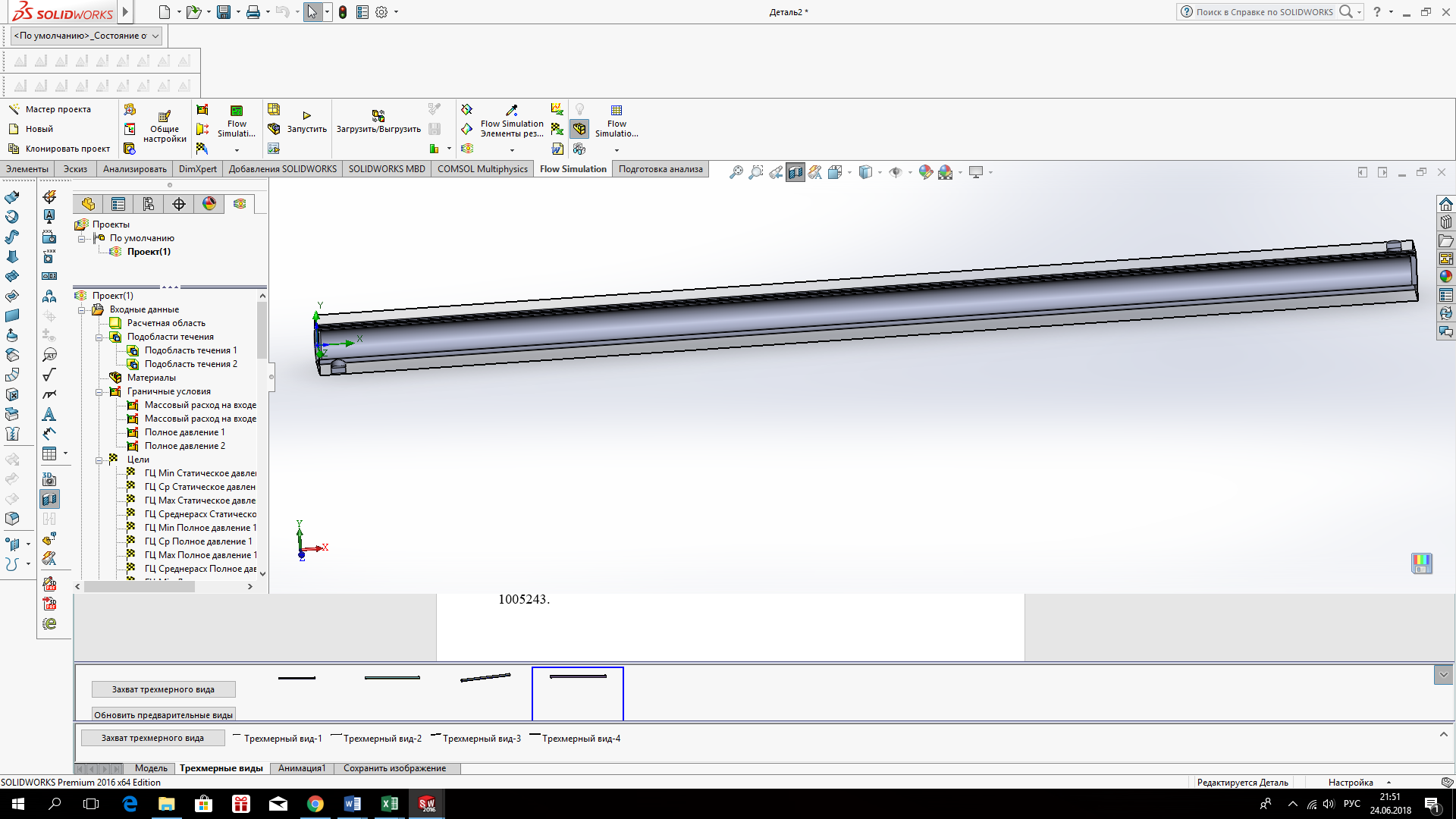


Рисунок 3.1.1 – Геометрия ТОА

Граничные условия на границах устанавливаются такие же как и при численном решении:

– устанавливается равенство расходов на входе и выходе, а именно 0,66 кг/с расход у продуктов сгорания и 0,33 кг/с – воды;

– неадиабатическая стенка с коэффициентом теплопроводности 202 Вт/м∙К.

Рассмотрим подробнее изменение температуры теплоносителей (рис.3.1.2). На данном рисунке видно, как изменяется температура горячего теплоносителя при движении слева направо, можем заметить, что при данной длине ТОА холодный теплоноситель достаточно хорошо снимает тепловой поток с горячей среды. Если на входе температура ПС соответствует 873 К (как и задавалось в граничных условиях), а на выходе средняя температура горячей среды составляет 403 К, что практически полностью соответствует условием задачи. Температура же холодного теплоносителя на входе имело среднее значение температуры 293 К, с течением 30 минут расчетного времени температура начинает увеличиваться до 310 К, на выходе температура воды составляет 483 К. Что так же соответствует поставленным условиям задачи. Изменение температур теплоносителей представлено на рис. 3.1.3.

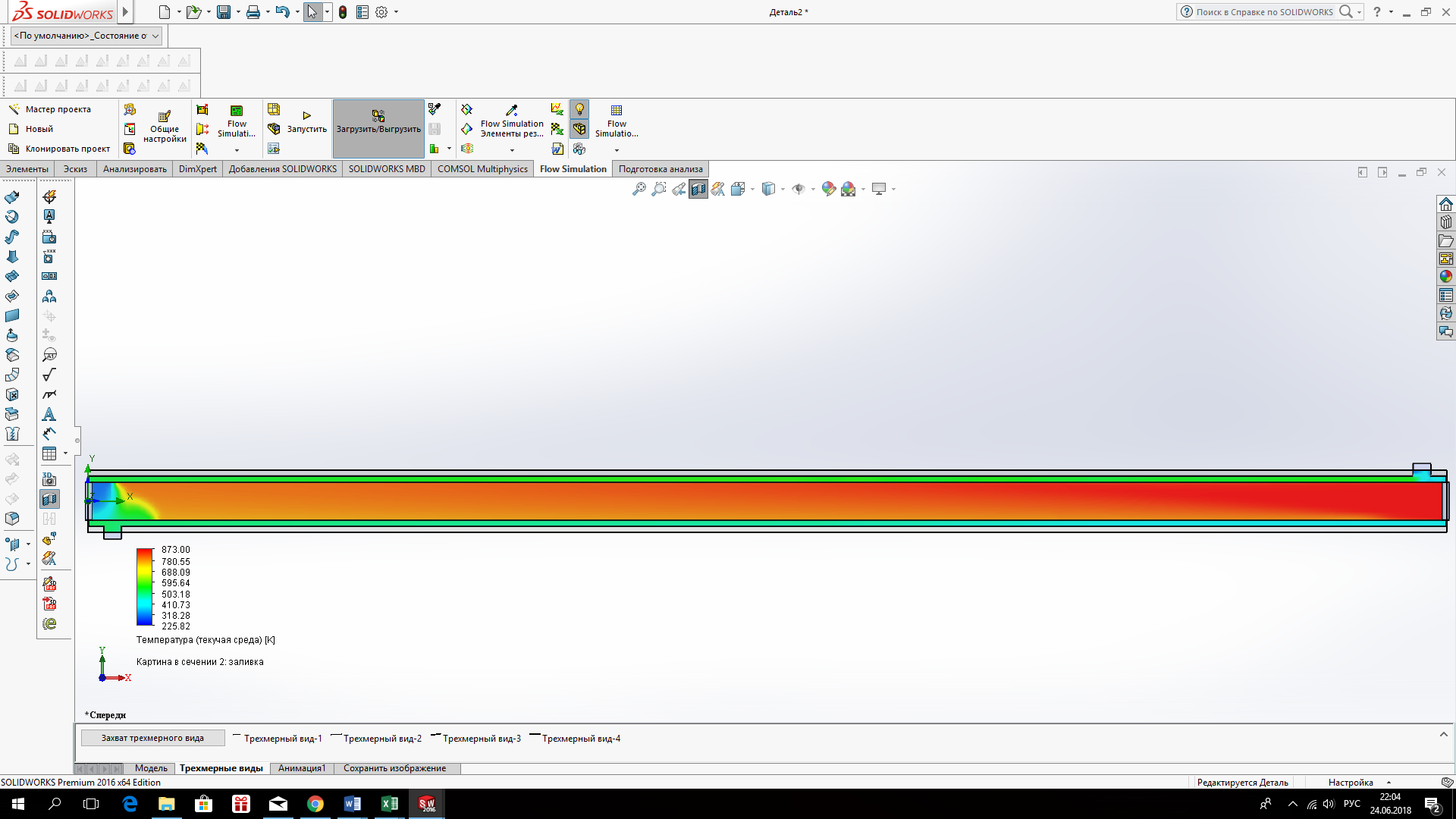


Рисунок 3.1.2 – Температуру текучей среды

Рассмотрим детально изменение температуры внутренний стенки. В данной задаче в качестве материала стенки используется алюминий толщиной 3 мм и коэффициентом теплопроводности 202 Вт/м∙К. Принимая во внимания тот факт, что температура используемого в задачи материала стенки соответствует 933 К, то по рис. 3.1.4 можем сказать, что внутренняя труба не достигает температуры плавления ни в одной точке по всей длине ТОА. Так же можем заметить, что минимальная температура не соответствует ни одной наименьшей температуре теплоносителей, это связано с теплопроводностью через толщину стенки и теплопередачей в пристеночной области. Точно так же, как и максимальная температура поверхности стенки не совпадает с максимальными температурами теплоносителей, что свидетельствует о правильности работы теплообменного аппарата.

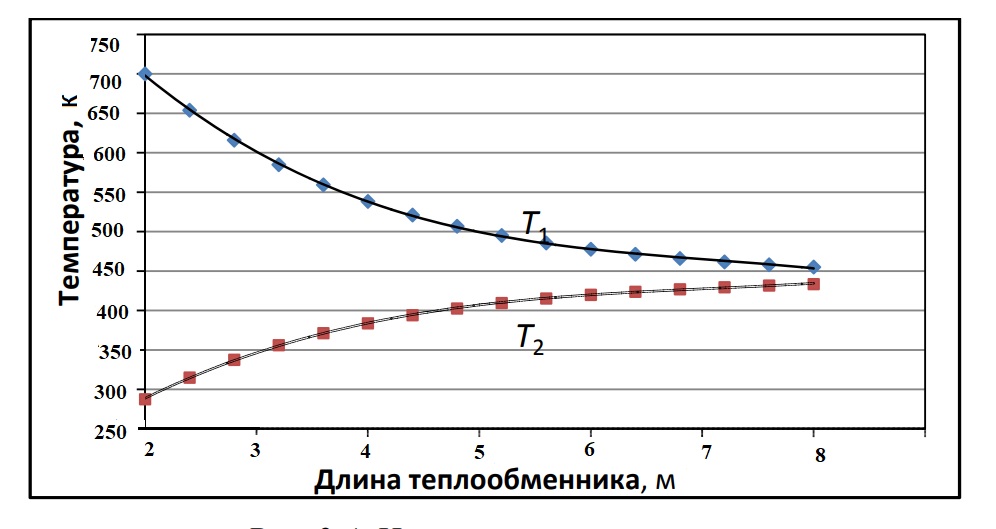


Рисунок 3.1.3 – Изменение температур теплоносителей

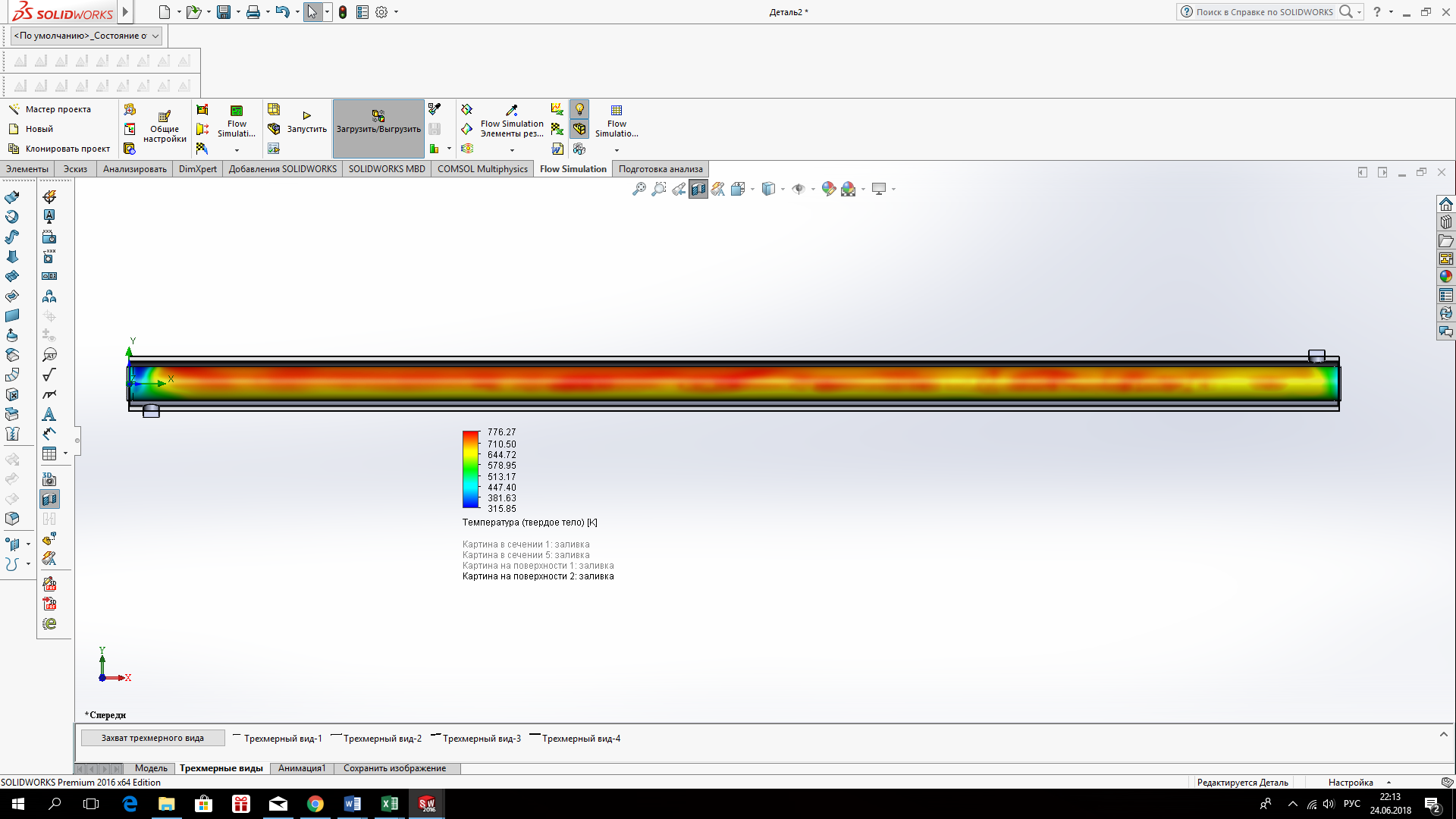


Рисунок 3.1.4– Распределение температур на поверхности внутренней стенки

Величина теплового потока снимаемого ТОА при моделировании задачи составляет 6,325∙105 Вт/м2. Величина теплового потока при прямом численном решении составляет 6.22∙105 Вт/м2.

Таким образом, можно заключить следующее:

– Прямое численное решение и численное моделирование в программном пакете SolidWorks проводя сравнения по тепловому потоку отличаются порядка 5%, отличия могут быть различны в связи с не очень подробной сеткой и погрешностью расчета при ручном расчете с использованием программы Excel;

– Численное моделирование предоставляет точное решения с точки зрения температур теплоносителей, разница показателей составляет 3,5%.

В общем случае, можем сказать, что программный пакет Solid Works дает достаточно точные результаты расчетов.

## **Численное моделирование ТОА с шахматной компоновкой**

Шахматная компоновка теплообменного аппарата имеет отличительную особенность, здесь во внутреннем пространстве трубы располагаются в шахматном порядке, число которых определяется числом трубок в ряду и числом рядов в пучке.

Характерной отличительной особенностью является число трубок в ряду и число рядов в пучке, то с помощью них задаем площадь проходного сечения. Т.к. после численного расчета было принято, что наиболее высокие характеристики ТОА дают трубки размера 14х1 с общим количеством трубок *n* = 52 шт.

В ходе численного моделирования строится геометрия ТОА имеющая следующие геометрические показатели:

– длиной 1,93 м,

– диаметр внутренних труб 14 мм;

– толщина внутренних труб 1 мм;

– диаметр внешней трубы 150 мм

– толщина внешней трубы 3 мм;

– шаг поперечный 1,35 мм;

– шаг 1,9 мм.

Так же, как и в прошлом примере моделируем прямоточное движение теплоносителей со схожими граничными условиями. В данном примере во внутренних трубках протекают продукты сгорания, омывает трубки – вода.

## **Результаты численного моделирования**

Рассмотрим подробно полученные результаты моделирования. На рис. 3.4.1 – 3.4.3 представлена геометрия ТОА. Как было сказано выше, моделируется прямоток. Длина ТОА составляет 3,5 м с количеством трубок внутри равным 52 шт. Расчет производится при использовании осесимметричной постановке задачи для ускорения процесса расчета и экономии ресурса вычислительной машины. Общее количество ячеек сетки составляет 3205263.

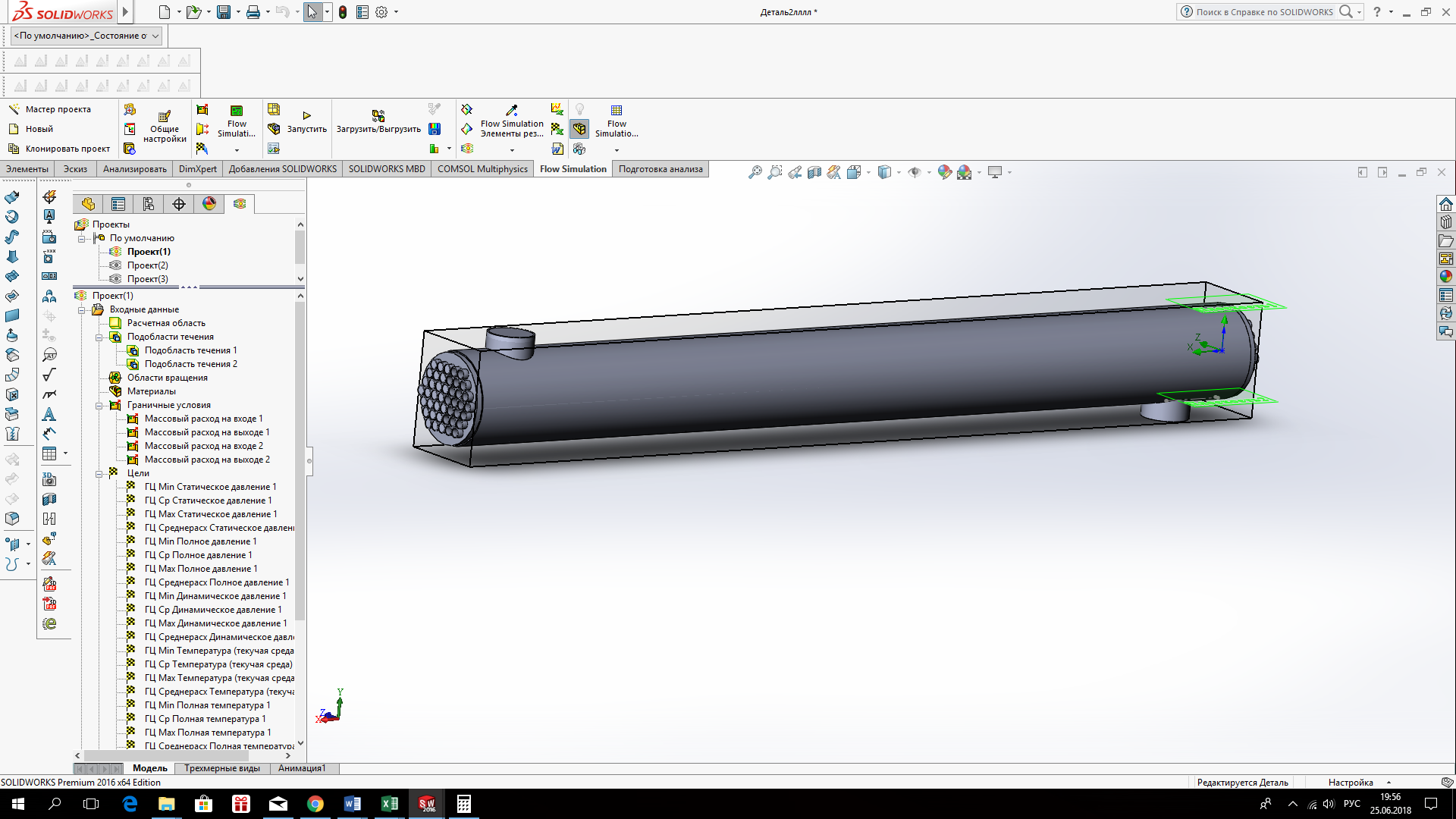


Рисунок 3.4.1 – Геометрия ТОА с шахматной компоновкой

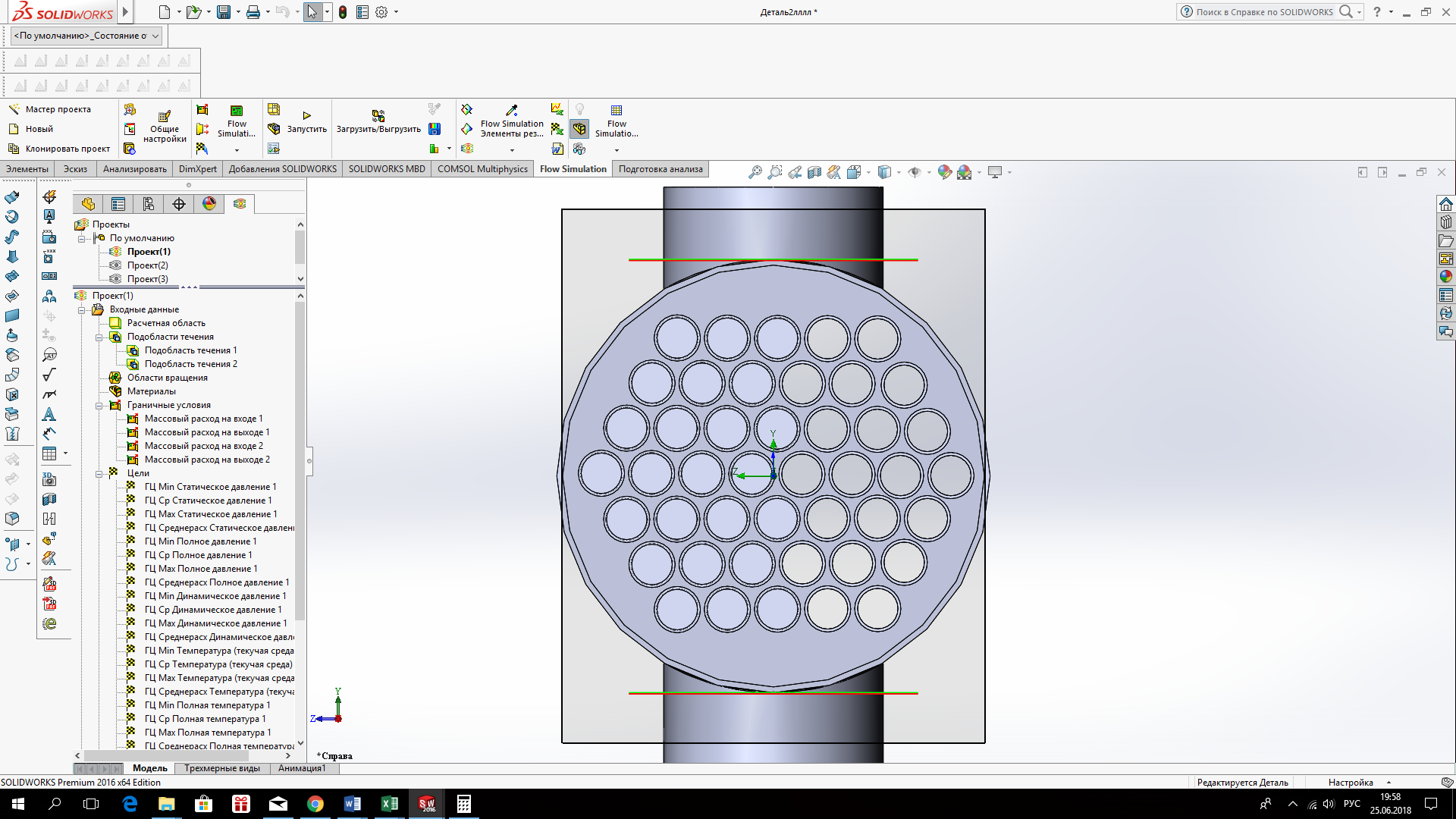


Рисунок 3.4.2 – Поперечное сечение ТОА

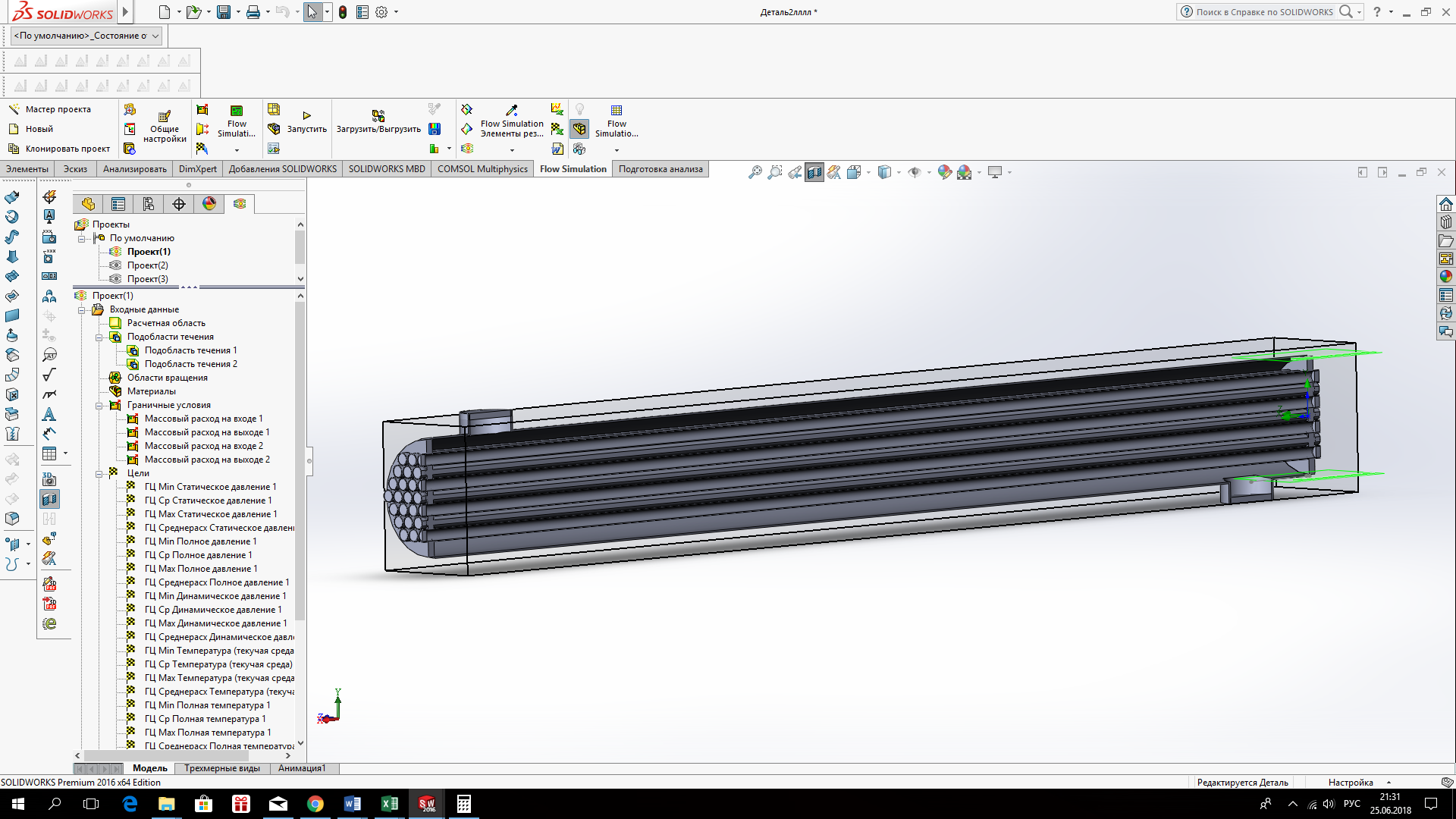


Рисунок 3.4.3 – Поперечный разрез ТОА

Рассмотрим температурное поле текучей среды рис. 3.4.4. На данном изображении представлено распределение температур теплоносителей по длине всего ТОА. На входе в ТОА горячей теплоноситель имеет температуру 873 К, на выходе можем заметить, что температура на каждом из рядов с продуктами сгорания имеют различные температуры, так например для верхнего ряда трубок температура соответствует 735 К, для нижнего 658 К. Так же можем заметить, что и температура на воды вблизи каждой из трубок различна, так на верхнем ряду – 556К, на нижнем – 438 К, а на выходе составляет – 382 К. Рассмотрим более подробно рис. 3.4.5 – 3.4.6.

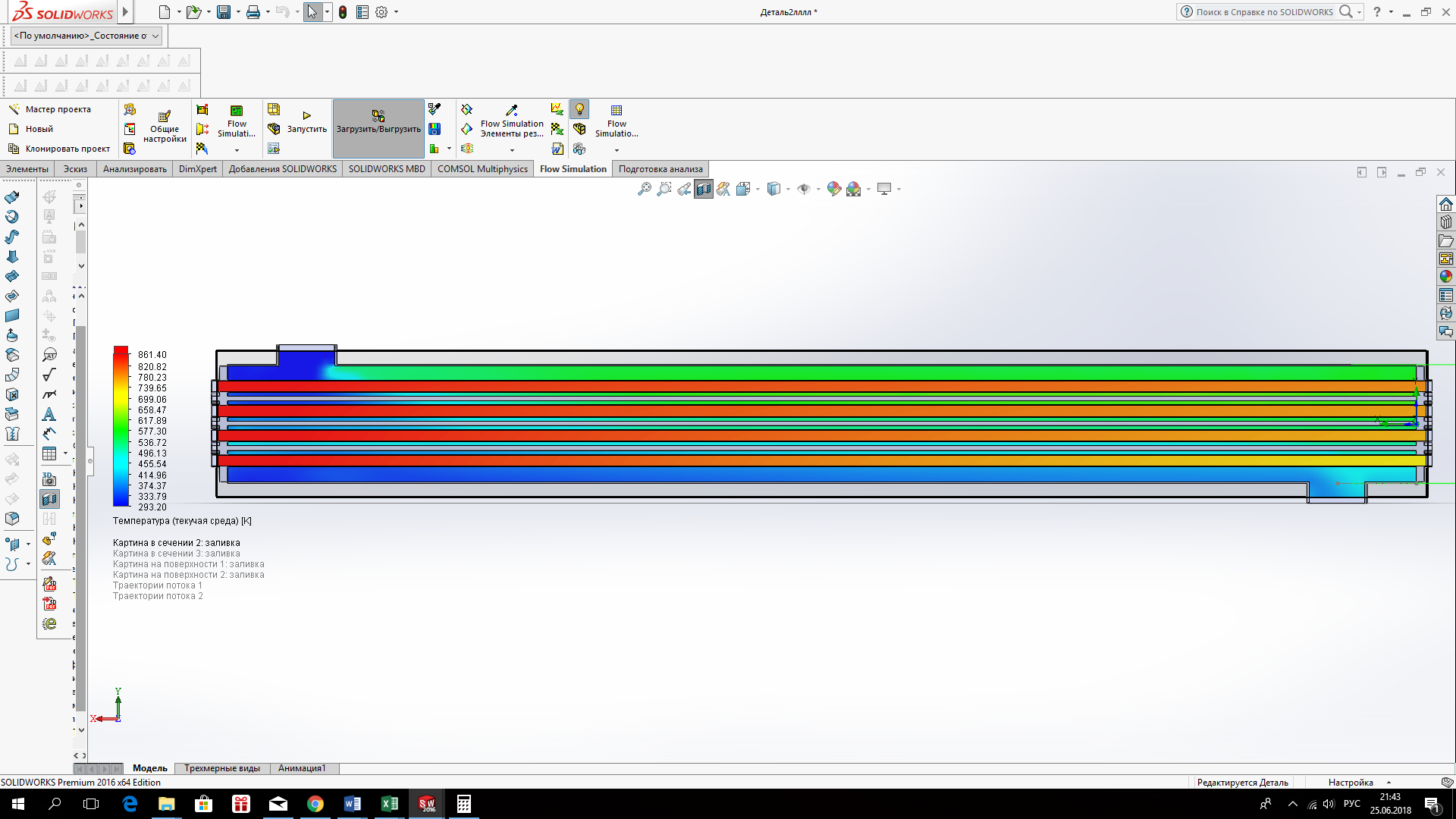


Рисунок 3.4.4 –Температура текучей среды

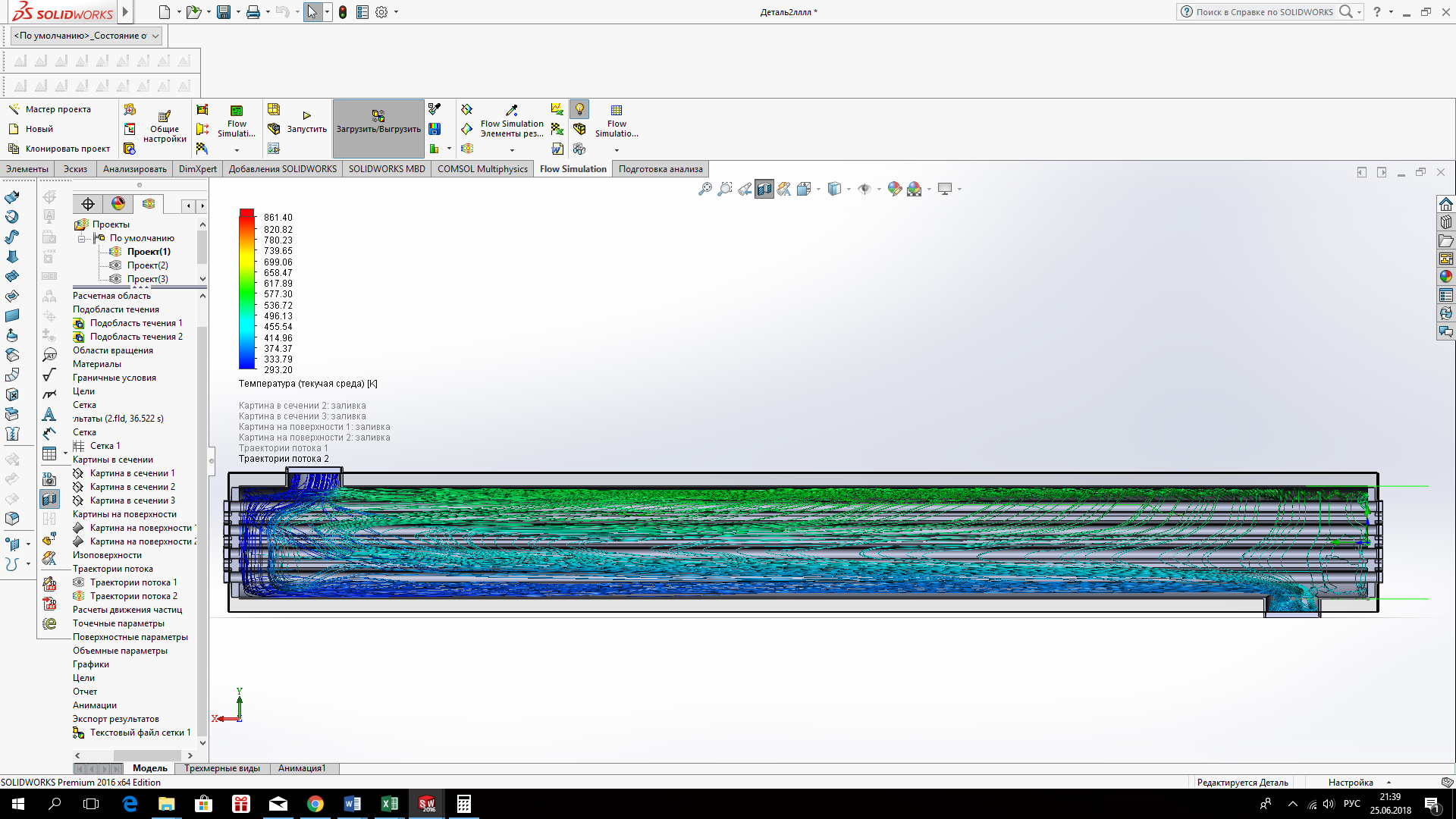


Рисунок 3.4.5 – Изображение линий тока холодного теплоносителя

На данных рисунках мы видим изображения линий тока холодного теплоносителя. Здесь хорошо показано, как при входе в тракт холодный теплоноситель сразу начинает охлаждать верхний ряд трубок с горячем теплоносителем и как уносится поток жидкости по верхнего межтрубному пространству снимая тепловой поток с верхнего ряда труб. Затем смешивается с последующими рядами, за счет того, что происходит теплопередачи между частицами воды, то температура холодного теплоносителя сменяется от верхнего ряда к нижнему ряду труб. В связи с этим и каждый последующий ряд трубного пучка шахматной компоновки снимает все больший тепловой поток с трубок горячего теплоносителя.

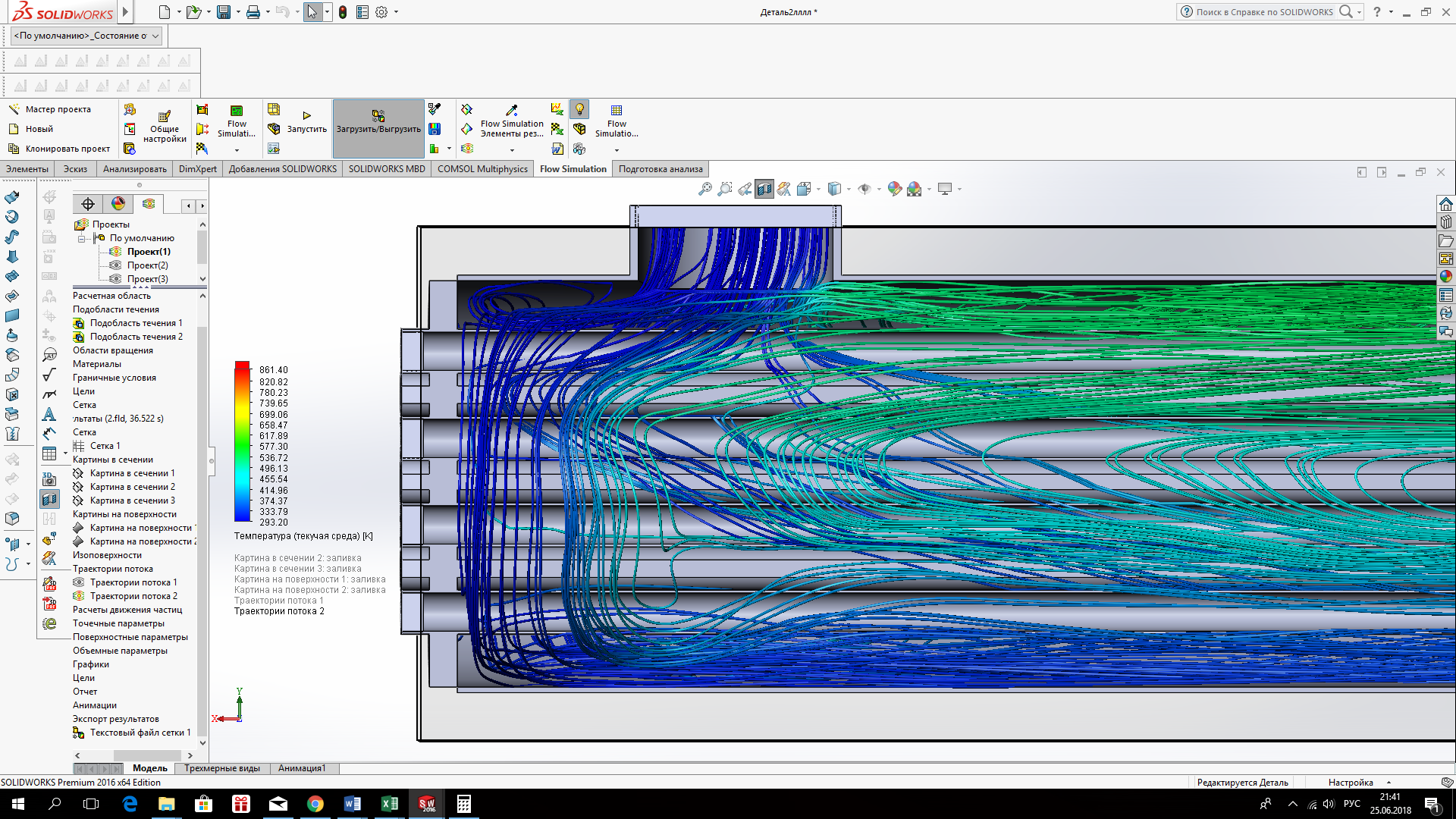


Рисунок 3.4.6 – Линии тока холодного теплоносителя на входе в трубу

Если провести сравнение полученных данных с поставленными условиями, то можно заметить разницу порядка 20% по температурам, что является достаточно большой разницей, в свою очередь показывая, что данное исследование не удалось.

Достоинством данного моделирования является то, что снимаемый тепловой поток с данного ТОА составляет 8,6∙105 Вт/м2, что превышает предыдущую компоновка и значит есть возможность еще уменьшить длину теплообменника.

# Заключение

В ходе выполнения данного курсового проекта было проведено численное решения теплообменного аппарата с помощью программы MS Excel, в результате чего были выбраны оптимальные геометрические размеры для проектирования ТОА.

Следующим шагом в выполнении проекта было ознакомление и численное моделирование в программном пакете SolidWorks. Полученные результаты моделирования при проектировании ТОА с компоновкой «Труба в трубе» показали практические одинаковые результаты по сравнению с численным решением. При проектировании теплообменника с шахматной компоновкой, результаты были различны с численным решением и поставленными условиями задачи, причиной этого может являться не правильная постановка задачи, неточное численное решение, не правильное определение межтрубного пространства.

Данный курсовой проект является основой и первой ступень к последующему моделировании процессов тепломассопереноса в реакторе на быстрых нейтронах, а также выбор наилучшего теплоносителя.

# Список использованной литературы

1. Исаченко, В.П. Теплопереадача: учеб. Для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. М.: Энергоиздат. 1981. 416 с.

2. Юдаев, Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача: учеб. для неэнергетич. спец. вузов / Б.Н. Юдаев, М.: Высш. шк., 1988, 479 с.

3. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. М.: Энергия, 1977. 243 с.

4. Сахин, В.В. Исследование процессов теплообмена : учеб. практикум / В.В. Сахин, изд. 2-е, доп. / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2004. 206 с.

5. Сахин, В.В. Теплопередачп : учеб. пособие / В.В. Сахин, В.П. Шалимов. Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2003. 202 с.

6. Сахин, В.В. Техническая термодинамика : учеб. пособие кн. 1 / В.В. Сахин; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2005. 246 с.

7. Сахин, В.В. Теплообменные аппараты : учеб. пособие / В.В. Сахин; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2005. 116 с.

8. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / Е.А, Аметистов [и др.]; под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.

9. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Изд. «Наука», М. 1972.

10. Дудаерева, Н. Самоучитель Solidworks 2007 / Изд. «Бхв-Петербург», 2007.

11. Большаков, В.П. 3D-моделирование в AutoCad, Компас-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex : Учебный курс / Изд. «Питер», 2011.