

УДК 53.536.246

РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММЕ ANSYS FLUENT ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННИКА НАТРИЕВОЙ ПЕТЛИ

Хасенова С.М., Акаев А.С., Мартыненко Е.А.

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены расчетные исследования по решению многокритериальной задачи оптимизации натриевого теплообменника. Рассматриваемый теплообменник является одним из элементов петлевого натриевого контура (ПНК), разрабатываемого для обеспечения циркуляции натрия при проведении экспериментов на реакторе ИГР с элементами активных зон реакторов на быстрых нейтронах.

В ходе исследований был проведен математический расчет для выбора геометрических параметров теплообменного устройства и определения необходимого расхода теплоносителя. С использованием выбранных геометрических параметров создана трехмерная модель теплообменного устройства в программном комплексе *ANSYS FLUENT* и проведен стационарный тепловой расчет. В ходе трехмерного расчета получено распределение температурного поля теплообменного устройства с теплоносителями.

В результате расчетных исследований сформирован оптимальный диапазон параметров теплообменного устройства, построена трехмерная расчетная модель и получено распределение температурного поля оптимизированной модели.

Ключевые слова: теплофизический расчет, натриевый теплообменник, расчетная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Первостепенным требованием к эксплуатации ядерных реакторов на быстрых нейтронах является безопасность. Реакторные эксперименты позволяют получить достоверные данные о поведении ядерного топлива в переходных и аварийных режимах работы. Характеристики импульсного графитового реактора (ИГР) позволяют проводить внутриреакторные эксперименты с моделированием тяжелых аварий с различными условиями. В настоящее время в Институте атомной энергии РГП НЯЦ РК, в рамках экспериментальной программы SAIGA, проводятся работы по разработке экспериментального устройства, натриевого контура и обоснования проведения экспериментов.

Петлевой натриевый контур (ПНК) предназначен для обеспечения циркуляции разогретого жидкого натрия через экспериментальное устройство, установленное в центральном экспериментальном канале реактора ИГР, при подготовке и проведении внутриреакторных экспериментальных исследований топлива и элементов активных зон реакторов с натриевым теплоносителем. ПНК представляет собой замкнутый циркуляционный контур подготовки натрия и разомкнутый контур подачи и отвода натрия из экспериментального устройства, размещенного в центральном экспериментальном канале (ЦЭК) реактора ИГР. Натриевый контур будет также использоваться для обкатки технологий насосов, парогенераторов, теплообменников и других устройств, предназначенных для ядерных реакторов на быстрых нейтронах.

Одним из элементов натриевого контура является теплообменное устройство. Внешний вид расчетной модели теплообменного устройства приведен на рисунке 1 [1]. Рассматриваемый на рисунке теплообменник – змеевиковый. Этот аппарат состоит из вер-

тикального цилиндрического стального корпуса. Внутри корпуса расположен змеевик, состоящий из стальной трубы, свернутой в виде спирали (змейки). Концы змеевика выходят из корпуса через крышки. Теплообмен в аппарате происходит через стенки змеевика. По каналу проходит воздух, а натрий прокачивается через змеевик.

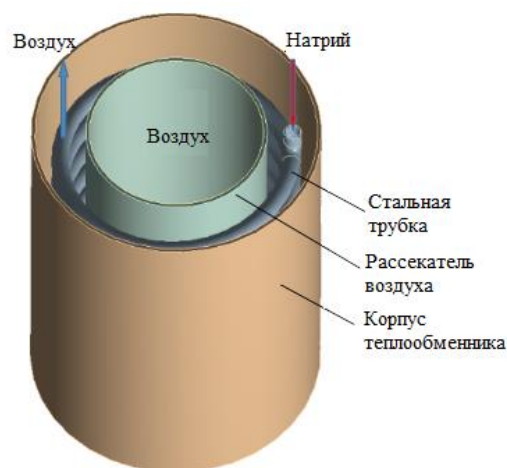


Рисунок 1. Расчетная модель теплообменного устройства

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Основными задачами работы является разработка расчетной модели натриевого теплообменника с оптимизированными геометрическими параметрами и определение необходимого расхода охлаждающего воздуха. На первом этапе решения задач выполняется поверочный расчет в программе *MathCAD*. Целью данного расчета является определение геометрических параметров при заданном расходе теплоносителя.

Исходные данные для проведения расчета:

- температура подачи натрия в теплообменник, °C..... 450;
- температура натрия на выходе из теплообменника, °C 190;
- расход натрия, л/ч 220;
- максимальное давление в контуре натрия, кгс/см² 4.

В качестве материала трубного элемента выбрана сталь, в качестве теплоносителя – натрия.

Для определения геометрических параметров теплообменника необходимо вычислить коэффициент теплопередачи от охлаждаемого теплоносителя к нагреваемому через стенку [2]

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{na} \cdot d_1} + \frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot \lambda_{st}} + \frac{1}{\alpha_b \cdot d_2}}, \quad (1)$$

где α_{na} – коэффициент теплоотдачи потока натрия, Вт/(м²·°C); d_1 – внутренний диаметр трубки теплообменника, м; λ_{st} – коэффициент теплопроводности стальной трубки, Вт/(м·°C); d_2 – наружный диаметр трубки теплообменника, м; α_b – коэффициент теплоотдачи в воздух, Вт/(м²·°C).

Логарифмический перепад температуры между потоками при противотоке

$$\Delta t = \frac{(t_{na1} - t_{b2}) - (t_{na2} - t_{b1})}{\ln \left(\frac{t_{na1} - t_{b2}}{t_{na2} - t_{b1}} \right)}, \quad (2)$$

где t_{na1} , t_{na2} – температура натрия на входе и выходе из теплообменника соответственно, °C; t_{b1} , t_{b2} – температура воздуха на входе и выходе из теплообменника соответственно, °C; t_{b1} – температура воздуха на входе в теплообменник, К.

Длина трубки теплообменника

$$L = \frac{Q}{\Delta t \cdot \pi \cdot k_l}, \quad (3)$$

где Q – тепловой поток, Дж.

В результате проведенного математического расчета были выбраны геометрические параметры теплообменника, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Основные геометрические параметры теплообменника

Параметр	Значение
Внутренний диаметр трубки теплообменника, м	0,02
Толщина стенки трубки теплообменника, м	0,002
Угол атаки теплоносителя (воздух), град.	85
Расстояние между витками теплообменника, м	0,056
Число витков, шт.	8
Общая высота витков теплообменника, м	0,448
Высота теплообменника, м	0,528
Длина трубки завитой части теплообменника, м	8,05
Общая длина трубки теплообменника, м	8,15

На рисунке 2 приведена расчетная модель теплообменного устройства с основными геометрическими параметрами.

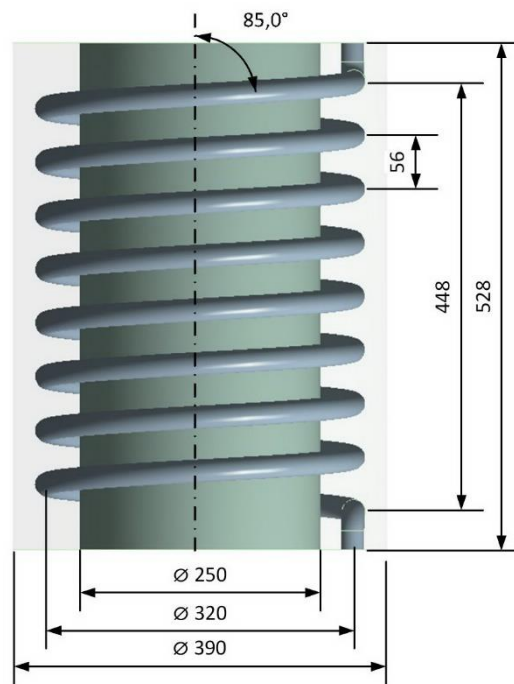


Рисунок 2. Расчетная модель теплообменника без внешнего корпуса

На втором этапе проведен трехмерный расчет теплообменного устройства при помощи программного комплекса *ANSYS FLUENT* [3], реализующего метод конечных элементов. Теплофизические свойства материалов для проведения расчетов взяты из справочной литературы [4] и заданы в виде функциональной зависимости от температуры. Результаты расчетов теплообменника с указанными геометрическими параметрами (рисунок 2, таблица 1) и противотоком теплоносителей показывают, что при расходе воздуха, равном 0,86 кг/с, среднее значение температуры натрия и воздуха на выходе из теплообменника равны 190,1 °C и 48,4 °C соответственно. На рисунке 3 приведено температурное поле натрия, температура приведена в градусах Цельсия. В таблицу 2 сведены параметры теплоносителей.

Таблица 2. Параметры теплоносителей

Параметр	Значение
Температура натрия на входе в теплообменник, °C	450
Температура воздуха на входе в теплообменник, °C	25
Температура натрия на выходе из теплообменника, °C	190,1
Температура воздуха на выходе из теплообменника, °C	48,4
Расход воздуха, кг/с	0,86
Расход натрия, кг/с	0,054
Направление теплоносителей	противоток

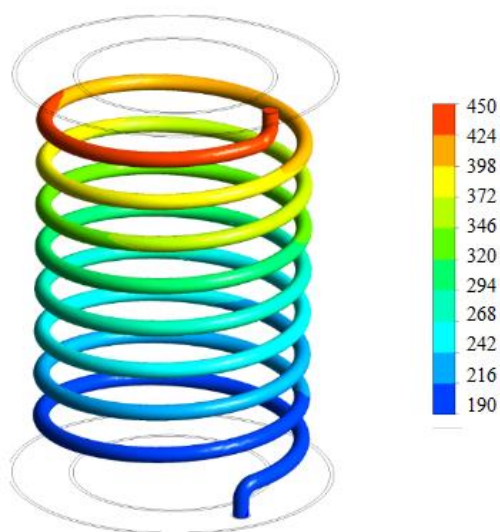


Рисунок 3. Распределение температурного поля натрия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ по данной теме получены следующие результаты:

- сформирован оптимальный диапазон управляемых параметров: высота теплообменника, длина трубки завитой части теплообменника, общая длина трубки теплообменника, число витков, расстояние между витками теплообменника, внутренний диаметр трубки теплообменника, толщина стенки трубки теплообменника;
- разработана расчетная модель теплообменного устройства натриевой петли с решением многокритериальной задачи оптимизации;
- определены расход и распределение значений температуры теплоносителей.

Полученное теплообменное устройство может быть рассмотрено в качестве одного из возможных вариантов для комплектации петлевого натриевого контура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Служебная записка «О проведении расчета»/ филиал ИАЭ РГП НИЦ РК. Хаметов С.З., Пахниц А.В., Богомолова И.Н. - Курчатов, 2019. - 2 с №33-470-02/4079 от 19.12.2019.
2. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: «Энергия», 1977.
3. ANSYS release 14.5 Documentation for ANSYS WORKBENCH: ANSYS Inc. – Электрон. дан. и прогр. – [Б. м.], 2014.
4. Чиркин В.С., «Теплофизические свойства материалов ядерной техники», М.:АТОМИЗДАТ.– 1968.

НАТРИЙ ТҰЗАҒЫНЫҢ ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШЫНА АРНАЛҒАН ANSYS FLUENT БАҒДАРЛАМАСЫНДА ОҢТАЙЛАНДЫРУ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

С.М. Хасенова, А.С. Акаев, Е.А. Мартыненко

ҚР ҰАО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Мақалада натрий жылу алмастырғышты оңтайландырудың көп критериялы міндеттерді шешу бойынша есептік зерттеулер ұсынылды. Қарастырылатын жылу алмастырғыш жылдам нейтрондарда реакторлардың активтік аймақтардың элементтері бар ИГР реакторында эксперименттерді жүргізу кезінде натрийдің циркуляциясын қамтамасыз ету үшін әзірленетін тұзақты натрий контурының (ТНК) элементтерінің бірі болып табылады.

Зерттеу барысында жылу тасымалдағыштың қажетті шығынын анықтау және жылу алмастырғыш құрылғысының геометриялық параметрларын таңдау үшін математикалық есеп жүргізілді. Тандалған геометриялық параметрларды пайдаланумен ANSYS FLUENT бағдарламалық кешесінде жылу алмастырғыш құрылғының үш өлшемді моделі құрылды және стационарлық жылу есебі жүргізілді. Үш өлшемді есептеу барысында жылу тасымалдағыштары бар жылу ауыстырғыш құрылғының температуралық өрісінің үйлестіруі алынды.

Есептік зерттеулер нәтижесінде жылу алмастырғыш құрылғының параметрларының тиімді диапазоны қалыптастырылды, үш өлшемді есептік модель салынды және оңтайландыру моделінің температуралық өрісін үйлестіруі алынды.

Түйінді сөздер: жылу физикалық есеп, натрий жылу алмастырғыш, есептік модель.

DEVELOPMENT OF OPTIMIZED MODEL FOR SODIUM LOOP HEAT EXCHANGER IN ANSYS FLUENT PROGRAM

S.M. Khasenova, A.S. Akaev, Ye.A. Martynenko

Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article addresses computational research on the decision of multi-criterial problem of how to optimize sodium heat exchanger. A heat exchanger under consideration is one of the elements of sodium loop (SL) being designed to provide sodium circulation in the IGR reactor experiments with fast reactor core elements.

The research covered mathematical calculation to select geometry for heat exchanger and identify required coolant flow rate. In *ANSYS FLUENT* software system, heat exchanger 3D model was developed using chosen geometry and stationary thermal calculation was conducted. Distribution of heat exchanger temperature field with the coolants was received in 3D calculation.

Computational research resulted in receiving best range of heat-exchanger parameters, creating 3D computational model and providing distribution of temperature field for optimized model.

Keywords: thermal-physical calculation, sodium heat-exchanger, computational model.