



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

Кафедра механики и математического моделирования

Ковальчук Алексей Андреевич

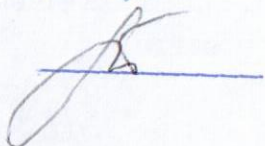
**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика,
магистерская программа «Математическое и компьютерное моделирование
механических систем и процессов»

Владивосток
2018

Сведения, содержащих
гос. тайну, нет

Эксперт



А.А. Боcharова

Автор работы  (подпись)

« 5 » июля 2018 г.

Консультант(ы)*

_____ (подпись) _____ (И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 2018 г.

Руководитель ВКР профессор, и.ф.-м.н. (должность, учёное звание)

 (подпись)

Е.В. Анюкова (И.О. Фамилия)

« 14 » июля 2018 г.

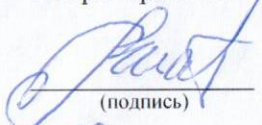
Назначен рецензент и.ф.-м.н. (учёное звание)

Бризицкий Роман Викторович
(Фамилия Имя Отчество)

Защищена в ГЭК с оценкой отлично

«Допустить к защите»

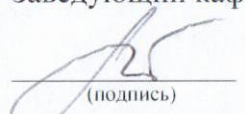
Секретарь ГЭК



А.А. Ратников

« 05 » июля 2018 г.


Заведующий кафедрой, доцент



А.А. Боcharова

« 14 » июля 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор Инженерной школы

 / Беккер А.Т. /
Подпись Ф.И.О.

« 18 » июля 2018 г.

В материалах данной выпускной квалификационной работы не содержатся сведения, составляющие государственную тайну, и сведения, подлежащие экспортному контролю.

Уполномоченный по экспортному контролю

_____ / _____ / « _____ » _____ 201 г.
Ф.И.О. Подпись

Оглавление

Введение	3
Термины, определения и сокращения.....	7
Математическое моделирование.....	8
Распространение тепла в продольных ребрах.....	11
Вариационная формулировка.....	14
Обсуждение полученных результатов.....	15
Распространение тепла в кольцевых ребрах.....	22
Обсуждение полученных результатов.....	28
Вывод.....	31
Список итературы.....	32
Приложение 1	33
Приложение 2.....	36

Введение

Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) являются наиболее ответственными и самыми напряженными конструкциями активной зоны современного ядерного энергетического реактора. В общем виде ТВЭЛ состоит из герметичной оболочки, внутри которой размещается ядерное топливо, где локализуются радиоактивные продукты деления. Оболочка ТВЭЛА обеспечивает требуемую механическую прочность конструкции, защищает ядерное топливо от коррозионно-эрозионного воздействия теплоносителя. Выход ТВЭЛА из строя приводит к наиболее опасным последствиям - попаданию в теплоноситель газообразных продуктов деления и ядерного топлива. ТВЭЛ считается работоспособным, если он в течение всего времени эксплуатации герметичен и его геометрические размеры не изменились настолько, чтобы заметным образом ухудшились внешнее охлаждение и объемное распределение температур в активной зоне. Поэтому одна из главных задач при разработке элементов активной зоны любого ядерного реактора гетерогенного типа заключается в создании надежных конструкций ТВЭЛОВ [1].

Разработка конструкции ТВЭЛОВ сводится к отысканию оптимальных решений, позволяющих обеспечить сочетание высоких экономических показателей всего топливного цикла с максимальной безопасностью и надежностью реактора в эксплуатации.

Разработка конструкции должна вестись в направлении выбора наилучших видов топлива, создания новых или усовершенствованных конструкционных материалов с высокой радиационной стойкостью и определения оптимальных конструкторских решений, обеспечивающих достижение высокой энерговыработки. При этом большое значение надо придавать технологическим возможностям изготовления ТВЭЛОВ, поскольку важным критерием в оценке совершенства конструкции ТВЭЛА является ее технологичность. Последнее обстоятельство становится особенно важным при использовании в ТВЭЛАХ уран-плутониевого топлива, требующего обязательного

применения высокопроизводительных дистанционных и автоматизированных технологических процессов.

Отыскание оптимальных конструкторских решений связано с решением следующих основных задач:

1. Выбор оптимальной формы и определение геометрических размеров твэла.
2. Разработка оптимального способа дистанционирования, обеспечивающего надежную работу твэла, несложную упаковку их в ТВС и приемлемые гидравлические характеристики активной зоны.
3. Установление оптимальной пористости внутри твэла, необходимой для компенсации объемных изменений топливного сердечника при глубоких выгораниях. Рациональное распределение этой пористости, обеспечивающее максимальную разгрузку оболочки от механического воздействия со стороны топливного сердечника.
4. Определение оптимальных режимов эксплуатации и ресурса работы твэла, обеспечивающих сочетание высокой эксплуатационной надежности и безопасности реакторной установки с приемлемыми экономическими характеристиками всего топливного цикла.

Форма твэла должна обеспечить достаточную емкость по топливному материалу при максимально возможном развитии поверхности теплообмена.

При выборе формы твэла, как правило, рассматривают четыре основных критерия, по которым оценивается приемлемость той или иной формы: допустимая энерговыработка, допустимая плотность энерговыделения, возможность обеспечения приемлемого с точки зрения физики и теплогидравлики соотношения между долей топлива в активной зоне и долей теплоносителя, технологичность. Причем существенное, а часто решающее значение для энергетических реакторов на быстрых нейтронах имеет значение допустимой энерговыработки.

Основной причиной разгерметизации оболочек твэлов энергетических реакторов является нарушение прочности материала оболочки из-за коррозионного растрескивания под действием больших растягивающих напряжений и очаговой коррозии.

Температурные поля и теплоотдача в активных зонах реакторов зависят от физических свойств, режима течения теплоносителя и от конструкции (эквивалентной теплопроводности) твэлов и относительного шага их распределения.

Для увеличения эффективного коэффициента теплопередачи в технике широко используется оребрение теплопередающих поверхностей. Форма оребрения весьма разнообразна. Применяют продольные, поперечные, трапециевидные ребра, ребра в виде шипов, кольцевые и т. д. Оребрение не только увеличивает поверхность теплообмена, но и оказывает большое влияние на гидродинамику потока, а тем самым и на коэффициент теплоотдачи. В ходе экспериментов с различными методами оребрения оболочек ТВЭЛов были разработаны более выгодные формы оребрения.

Оребрение твэлов активных зон и экранов реактора приводит к определенным особенностям теплообмена. С одной стороны, оно может способствовать перемешиванию теплоносителя по сечению кассеты, что улучшает условия теплообмена, а с другой стороны – ребра вызывают локальное увеличение температуры оболочек твэла.

Главной задачей оптимизации является сохранение свойств материала и его энергии являются общими задачами для оптимизации. Один из важных вопросов, который должен быть учтен в ходе проектной работы, — это оптимизация тепловой эффективности. Функция оптимизации может учитывать минимальный вес для заданного теплового потока, размещение отдельных ребер для формирования каналов и профиль ребра при заданных условиях (например: полизональные поверхности, минимальная масса, минимальное падение давления и т. д.).

Для интенсификации тепла от поверхности теплообменника до жидкости, можно увеличить коэффициент конвекции, изменить разность температур между поверхностью и жидкостью, а также увеличить площадь поверхности, через которую происходит конвекция. Расширенные поверхности, в виде продольных или кольцевых ребер являются общими в ситуациях, где необходимо повысить теплоотдачу и осуществить перенос между поверхностью стенки и жидкостью.

Ребра обычно используются в поверхностных теплообменниках. Обычные реберные теплообменники часто характеризуют значительную разницу между коэффициентами теплопередачи жидкостей.

Если ребро имеет большую температуру, чем жидкость, в которой оно находится, тогда температура поверхности ребра равна ниже базовой (первичной). Если тепло переносится конвекцией к ребру из окружающей жидкости, температура поверхности ребра будет выше, чем температура основания ребра, которая, в свою очередь, уменьшает разницу температур и передачу теплоты через данное ребро. Теплообменники с такой формой ребер также используются, когда один поток жидкости находится при высоком давлении, а значение температуры ограничено типом материала. Все вышеизложенное приводит к тому, что продольные и кольцевые ребра используются в различных тепловых системах, в которых тепловая энергия обменивается между различными средами [2].

Области применения огромны, от обычных труб в теплообменниках до контроля температуры электронных компонентов.

Термины, определения и сокращения

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

λ – коэффициент теплопроводности жидкости [1 Вт/м^{°С}] ;

α – коэффициент теплоотдачи [1 Вт/м²°С] ;

q_c – мощность внутренних источников тепла [1 Вт/м³];;

Q – тепловой поток [1 Вт/м³];

C_p – коэффициент теплоемкости [1 Дж/(кг * °С)];

ρ – плотность [1 кг/м³];

w – скорость потока воздуха [1 м/с];

$\varepsilon = \frac{\alpha_o}{\alpha_h}$ – коэффициент неравномерности

b – высота ребра [1 м];

δ – ширина ребра [1 м];

L – длина ребра [1 м];

s – зазор между ребрами [1 м];

r_{in} – ширина оболочки [1 м];

r – радиус трубы [1 м];

Математическое моделирование.

Рассматривается одиночное ребро в системе ребер развитой оребренной поверхности. В оребренных стенах и самих ребрах возникают градиенты температуры, величина которых зависит от геометрических размеров, коэффициента теплопроводности, материала ребра и условий охлаждений. На практике делают ребра различной формы, чаще всего используют продольные, кольцевые или спиральные ребра. Чтобы определить эффективность оребрения, необходимо рассчитать температурное поле в оребренной стенке. Так как тепло распределяется вдоль ребра и отдается омывающей его с боковых поверхностей жидкости, то температурное поле в ребре должно быть двумерным.

При вынужденной конвекции коэффициент теплоотдачи при обтекании труб с поперечными ребрами изменяется по высоте ребра. Часть ребра, примыкающая к основанию, рассеивает тепло при больших температурных напорах, чем прилегающая к вершине.

На неравномерный характер теплоотдачи на поверхности ребра также оказывает влияние вихревая структура движения теплоносителя в промежутке между ребрами при продольном обтекании с кольцевыми ребрами. Уравнения, основные на среднем коэффициенте теплоотдачи, могут давать заметную погрешность.

Таким образом, распределение температурного поля в одиночном ребре обусловлено двумерностью и существенной неравномерностью теплообмена на поверхности ребра.

В работе изучен процесс распространения тепла в ребрах различной геометрии при следующих допущениях: процесс стационарен, теплопроводность материала ребра постоянна, температуры в основании ребра и окружающей среды постоянны. Тепловой поток подается через основание ребра. Известно, что оптимальные значения профильного сечения и толщины

обратно пропорциональны теплопроводности материала; высота ребер при этом остается неизменной [3].

В работе поведен анализ для трех видов материала оребренной поверхности, изготовленной из меди, алюминия и нержавеющей стали, коэффициенты теплопроводности соответственно: $\lambda_1 = 380$ [Вт/м°C], $\lambda_2 = 200$ [Вт/м°C], $\lambda_3 = 18$ [Вт/м°C]. Высота во всех трех случаях выбрана равной $h=6$ мм = 0.06 м. Длина ребра в направлении обтекания составляет $L = 30$ мм = 0.3 м, диаметр трубы равен $d = 20$ мм = 0.02 м. Скорость потока воздуха вдоль ребра $w = 13$ [м/с], температура 100 [°C].

Закон изменения теплоотдачи по высоте прямого ребра принят в виде [3].

$$\alpha(y) = \alpha_h \left[\varepsilon^{\frac{1}{n}} - \left(\varepsilon^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \frac{y}{h} \right]^n, \quad 0 \leq y \leq h,$$

где $\varepsilon = \frac{\alpha_0}{\alpha_h}$ – коэффициент неравномерности

α_0, α_h – коэффициенты теплоотдачи у основания и вершин ребра, представлены на рис.1.

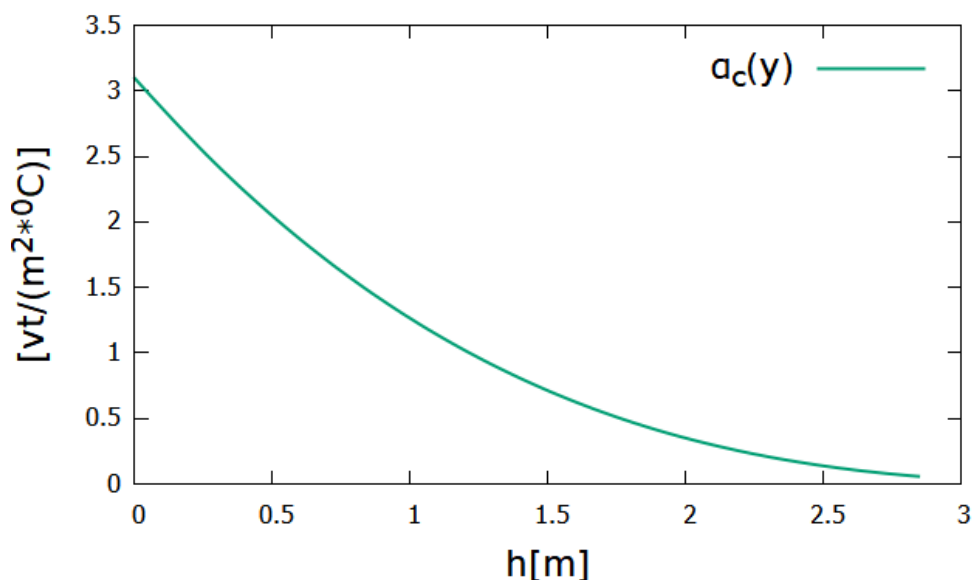


Рис.1

Изменение функции теплоотдачи при $n < 1$

Для определения среднего по длине ребра коэффициента теплоотдачи у вершины ребра воспользуемся зависимостью для случая продольного обтекания плоской поверхности.

Физические свойства воздуха при атмосферном давлении и $t_{ж} = 100[°C]$

следующие: $\nu_{ж} = 2.3 * 10^{-5} [м^2/с]$; $\lambda_{ж} = 3.11 * 10^{-2} [Вт/(м * с)]$; $Pr_{ж} = 0.7$;

Определим число Рейнольдса:

$$Re_{ж} = \frac{w_0 L}{\nu_{ж}} = \frac{13 * 0.3}{2.3 * 10^{-5}} = 1.7 * 10^5$$

т.е. пограничный слой является турбулентным. Найдем число Нуссельта:

$$Nu_{ж} = \frac{\bar{\alpha}_h L}{\lambda_{ж}} = 0.037 Re_{ж}^{0.8} Pr_{ж}^{0.43} = 0.037 * (1.7 * 10^5)^{0.8} * (0.7)^{0.43} \approx 482.$$

Откуда:

$$\bar{\alpha}_h = \frac{Nu_{ж} * \lambda_{ж}}{L} = \frac{482 * 0.0311}{0.3} = 50 \left[\frac{Вт}{м^2 * °C} \right]$$

В работе принят тепловой поток равным $Q = 2.8 * 10^2 [Вт]$, на ребре длиной $L = 30мм = 0.3м$ и $t_{c1} = 500 [°C]$ – температура теплоносителя. Проведем расчет для металлической конструкции с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 18 [Вт/м * °C]$. Плотность теплового потока, проходящая через площадь:

$$S = L(s + \delta) = 0.00132 [м^2],$$

найдем по формуле:

$$q_c = \frac{Q}{S} = \frac{2.8 * 10^2}{0.00132} = 212121 [Вт/м^2].$$

В силу стационарности теплового режима можно записать следующую систему уравнений:

$$q_c = \frac{2\lambda}{\delta} (t_{c1} - t_{c2}),$$

где $\delta = \ln \frac{r'}{r}$, r' – внешний радиус, r – внутренний радиус.

Найдем температуру внешней стенки:

$$t_{c2} = t_{c1} - \frac{\delta}{2\lambda} q_c = 197,767 [°C];$$

$$\alpha_0 = \frac{q_c}{t_{c2} - t_{ж2}} = \frac{800000}{298.98} = 2169.67 \text{ [Вт/(м}^2\text{°C)]};$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha_0}{\alpha_h} = 43.39.$$

Распространение тепла в продольных ребрах.

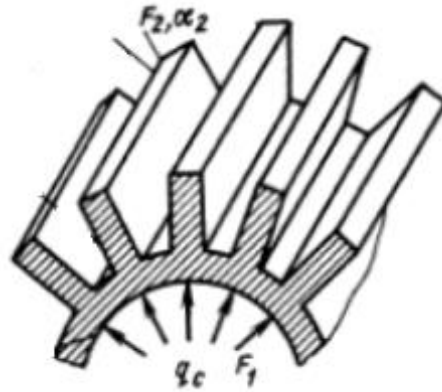


Рис.2

Рассматривается продольное оребрение поверхности твэла при разнообразных видах ребер с целью снижения общего термического сопротивления системы (рис.2). В ходе экспериментов с различными методами оребрения оболочек ТВЭЛов были разработаны более выгодные формы оребрения.

Дифференциальное уравнение и граничные условия для описания температурного поля в ребре и несущей стенке получены из уравнений баланса тепловых потоков, передаваемых через оребренную стенку.

Расчет двумерного температурного поля в области сложной формы при граничных условиях, характерных для теплопередачи оребренной стенки проведен численно-аналитическим методом с использованием пакета конечно-элементного анализа FreeFem++ [4].

Рассмотрим прямые ребра с различными видами профиля (прямоугольный, треугольный, выпуклый, вогнутый). Поперечный разрез вместе с несущей стенкой обозначим через Ω , границу всей области через $\Gamma_0 = \cup_{i=0}^7 \Gamma_i$, рис.3

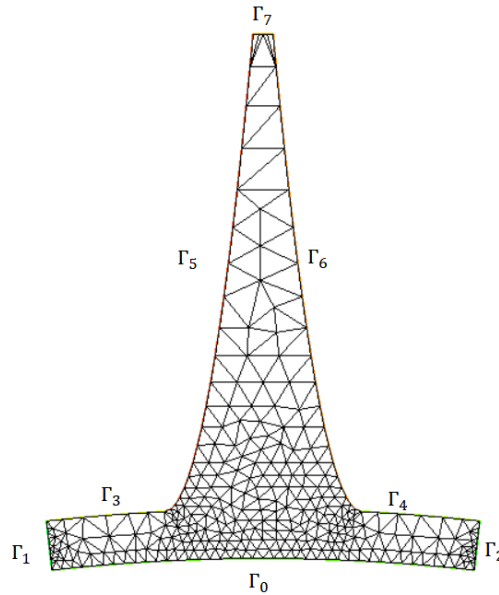


Рис.3

Расчетная область прямого ребра

Описание границ области.

Описание границ несущей стены: $\Gamma_0 \cup \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup \Gamma_4$

$$\begin{aligned} \Gamma_0 &= \{(x; y): x = r_0 \cos \varphi, y = -y_0 + r_0 \sin \varphi, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2 \}; \\ \Gamma_1 &= \{(x; y): x = t \cos \varphi_1, y = -y_0 + t \sin \varphi_1, \quad r_0 \leq t \leq r_1 \}; \\ \Gamma_2 &= \{(x; y): x = t \cos \varphi_2, y = -y_0 + t \sin \varphi_2, \quad r_0 \leq t \leq r_1 \}; \\ \Gamma_3 &= \{(x; y): x = r_1 \cos \varphi, y = -y_0 + r_1 \sin \varphi, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_{10} \}; \\ \Gamma_4 &= \{(x; y): x = r_1 \cos \varphi, y = -y_0 + r_1 \sin \varphi, \quad \varphi_{20} \leq \varphi \leq \varphi_2 \}; \end{aligned}$$

где r_0, r_1 –внутренний и внешний радиусы несущей стены, $y_0 = \sqrt{r_1^2 - (\frac{\delta}{2})^2}$.

Описание границ ребра: $\Gamma_5 \cup \Gamma_6 \cup \Gamma_7$

$$\begin{aligned} \Gamma_5 &= \left\{ (x; y): -\frac{\delta}{2} \leq x \leq -\frac{\delta}{20}, y = h(1 + \frac{2}{\delta} x)^l \right\}; \\ \Gamma_6 &= \left\{ (x; y): \frac{\delta}{20} \leq x \leq \frac{\delta}{2}, y = h(1 - \frac{2}{\delta} x)^l \right\}; \\ \Gamma_7 &= \left\{ (x; y): -\frac{\delta}{20} \leq x \leq \frac{\delta}{20}, y = \frac{81}{100} h \right\}; \end{aligned}$$

где h –высота ребра, δ –максимальная ширина ребра (ширина в основании ребра), $l \in (0, 2]$.

Дифференциальное уравнение и граничные условия для описания температурного поля в системе ребро-несущая стенка, имеют вид:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0 \quad (x, y) \in \Omega$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_5} = Bi * \alpha(y)(\theta - \theta_{ж}), \quad (x; y) \in \Gamma_5;$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_6} = Bi * \alpha(y)(\theta - \theta_{ж}), \quad (x; y) \in \Gamma_6;$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_7} = Bi * (\theta - \theta_{ж}), \quad (x; y) \in \Gamma_7;$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_3} = Bi * \frac{\alpha_0}{\alpha_h} (\theta - \theta_{ж}), \quad (x; y) \in \Gamma_3;$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_4} = Bi * \frac{\alpha_0}{\alpha_h} (\theta - \theta_{ж}), \quad (x; y) \in \Gamma_4;$$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_0} = 1, \quad (x; y) \in \Gamma_0;$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_1} = \frac{\partial \theta}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_2} = 0 \quad (x; y) \in \Gamma_1 \cup \Gamma_2.$$

Здесь $Bi = \frac{\delta \alpha_h}{\lambda}$ – число Био, характеризующее отношение термического сопротивления стенки $(\frac{1}{\lambda})$ к термическому сопротивлению передачи тепла на поверхности $(\frac{1}{\alpha_h})$ [5].

За масштаб температуры принята величина $q_0 = \frac{q_c \delta}{\lambda}$ [°C], за масштаб длины – δ [м].

Вариационная формулировка

Пусть $H^1(\Omega)$ – пространство функций, определенных в Ω , интегрируемых с квадратом и имеющих первую производную, интегрируемую с квадратом в Ω . Вариационная задача состоит в определении температурного поля $\theta \in H^1(\Omega)$ такого, что:

$$\int_{\Omega} \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) dx dy + \int_{\Gamma_{3-7}} Bi * \tilde{\alpha}(y) \theta \varphi d\sigma + \int_{\Gamma_0} \varphi dx dy$$
$$= \int_{\Gamma_{3-7}} Bi * \tilde{\alpha}(y) \theta_{ж} \varphi d\sigma$$

для любой $\varphi \in H^1(\Omega)$.

$$\text{Здесь } \tilde{\alpha}(y) = \begin{cases} \alpha(y), & y \in \Gamma_5, \Gamma_6; \\ 1, & y \in \Gamma_7; \\ \frac{\alpha_0}{\alpha_h}, & y \in \Gamma_3, \Gamma_4. \end{cases}$$

Для нахождения численного решения исходной задачи применяется метод конечных элементов, решаемый в интерактивной среде FreeFem++.

Анализ сходимости полученного решения на двух расчетных сетках, отличающихся в два раза по количеству узлов, показал, что сходимость решения достигается при количестве расчетных узлов 538.

Обсуждение полученных результатов.

Расчет выполнен в пакете конечно-элементного анализа FreeFem++. Текст скрипта представлен в приложении 1.

Геометрические параметры расчета:

$$b = 6 \cdot 10^3;$$

$$\delta = 2 \cdot 10^3;$$

$$L = 300 \cdot 10^3;$$

$$s = 0,4b$$

$$rin = 0.5 \cdot 10^3;$$

$$r = 20 \cdot 10^3.$$

Распределение температурного поля с учетом вынужденной конвекции для различных форм ребра из выбранного материала представлено на следующих рисунках:

$\nu = 0.02$, $b = 0.006$, $\delta t = 0.002$

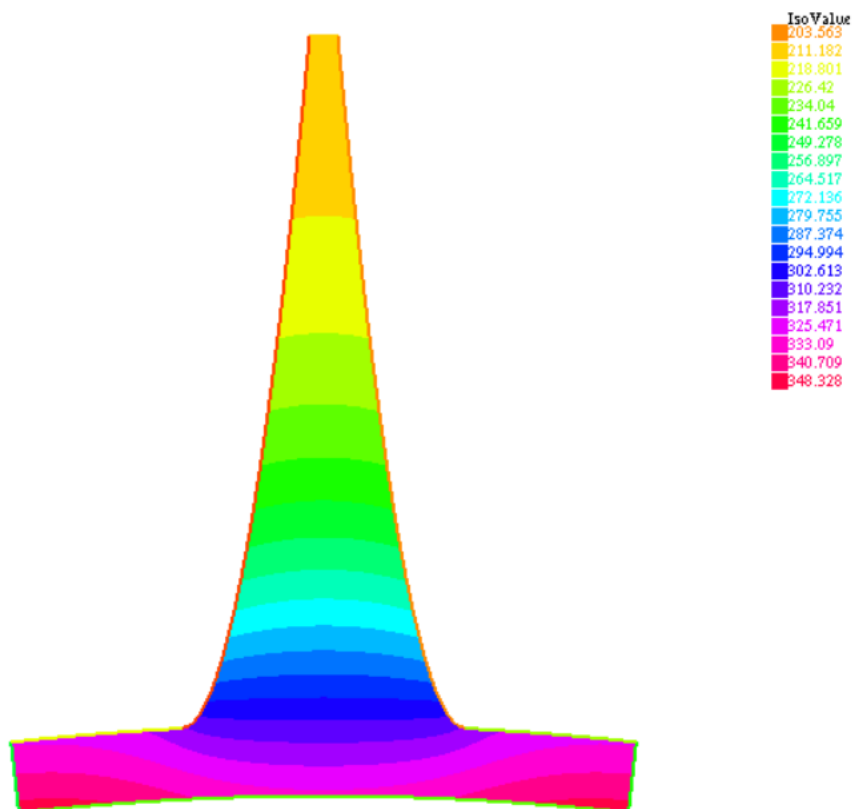


Рис.4

Распределение температуры в ребре вогнутой формы с основанием для металлического профиля.

$z = 0.02$, $b = 0.006$, $\delta = 0.002$

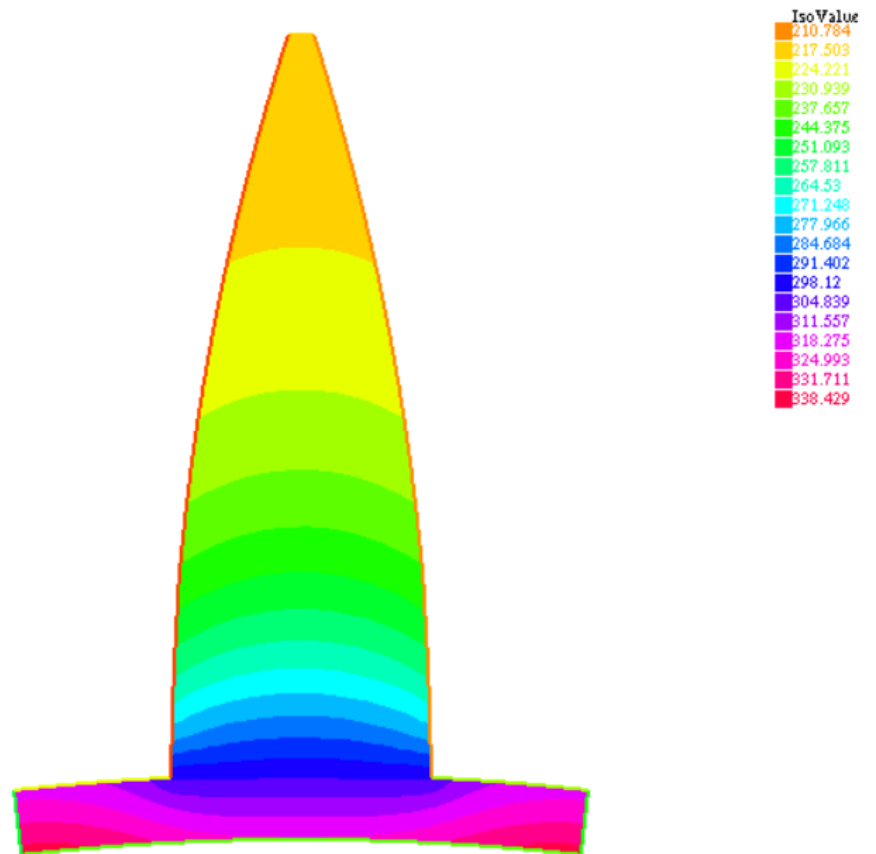


Рис.5

Распределение температуры в ребре выпуклой формы с основанием для металлического профиля.

$x=0.02, b=0.006, \delta=0.002$

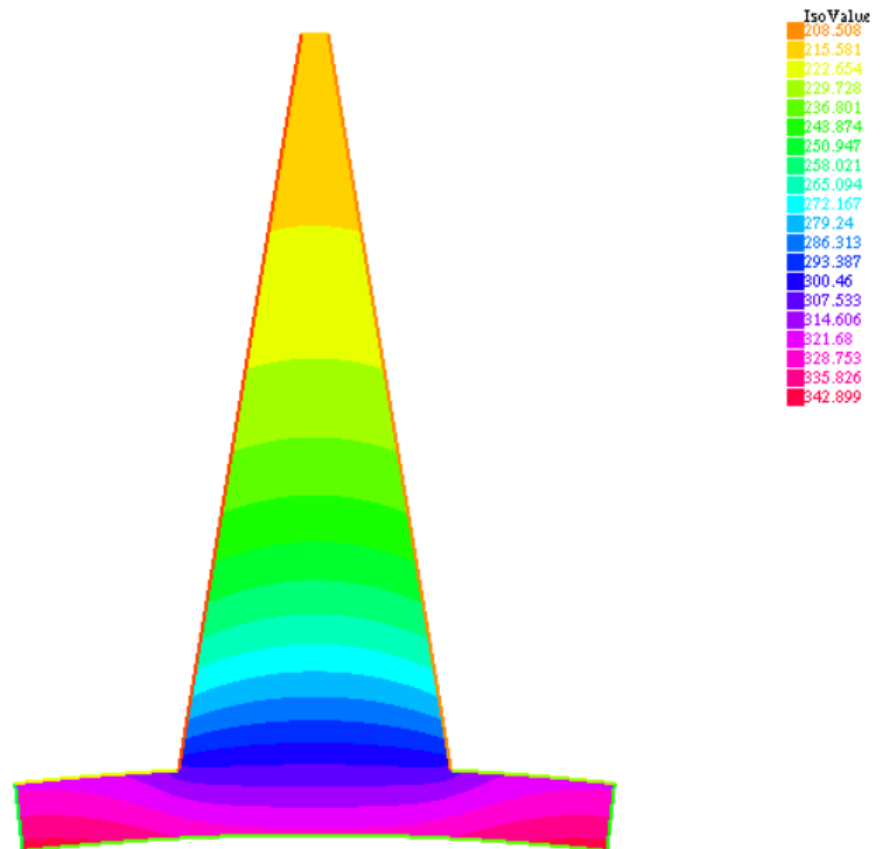


Рис.6

Распределение температуры в ребре прямой формы с основанием для металлического профиля.

Из приведенных на рисунках распределений изотерм в оробрении стенке видно, что температурное поле в стенке и ребрах двумерно. Температура стенки со стороны оробрения выпукла к внутреннему радиусу оболочки. Наибольшее снижение температуры происходит в ребре вогнутой формы.

Распределение температурного поля для разных материалов (алюминия, меди, стали) при переменном коэффициенте теплопроводности представлены на следующих графиках:

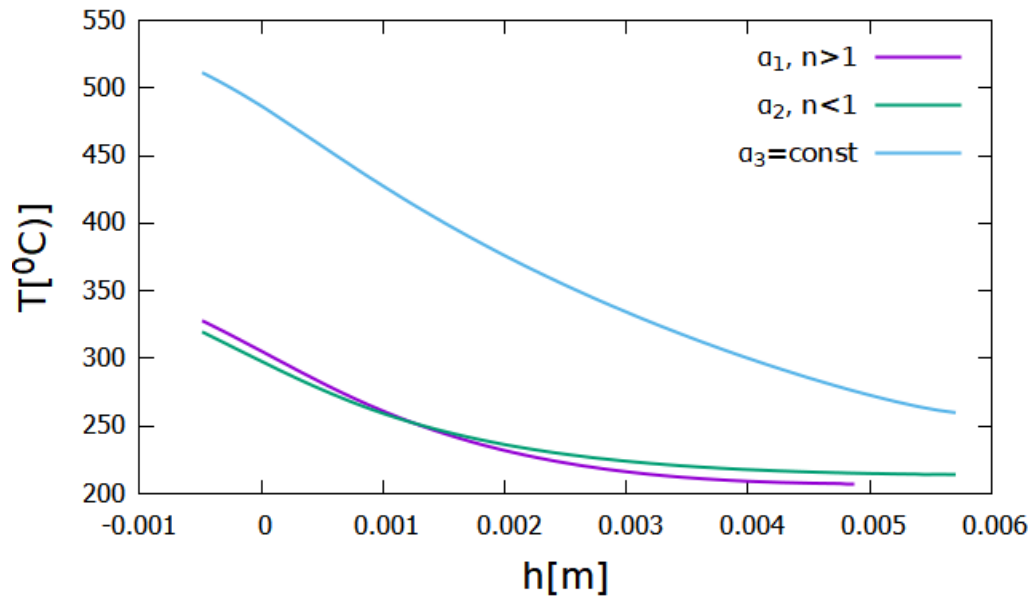


Рис.7

Изменение температуры с учетом вынужденной конвекции для стального профиля $\lambda = 18$ [Вт/м°C]

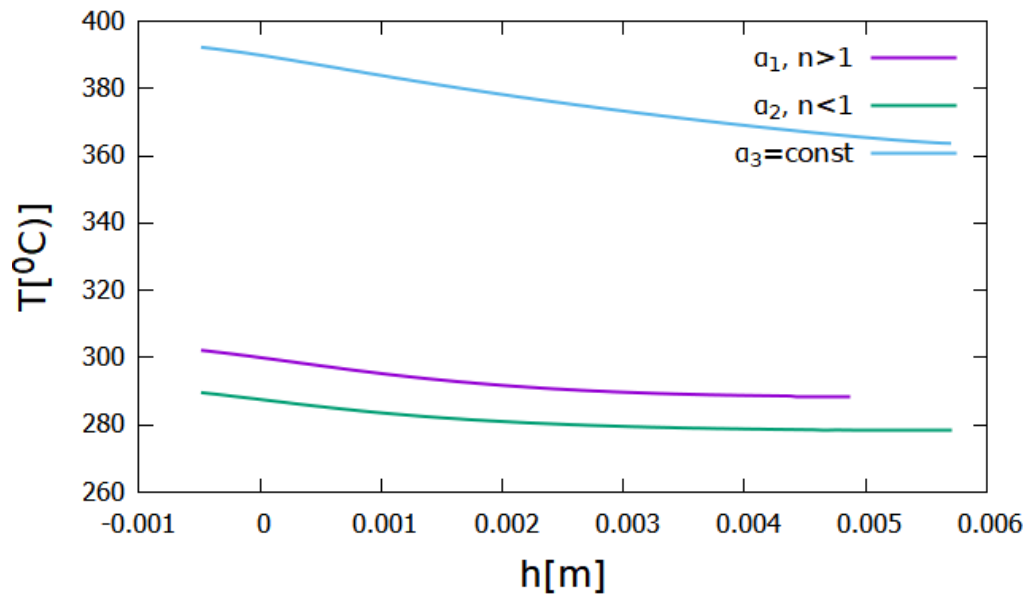


Рис.8

Изменение температуры с учетом вынужденной конвекции для алюминиевого профиля $\lambda = 200$ [Вт/м°C]

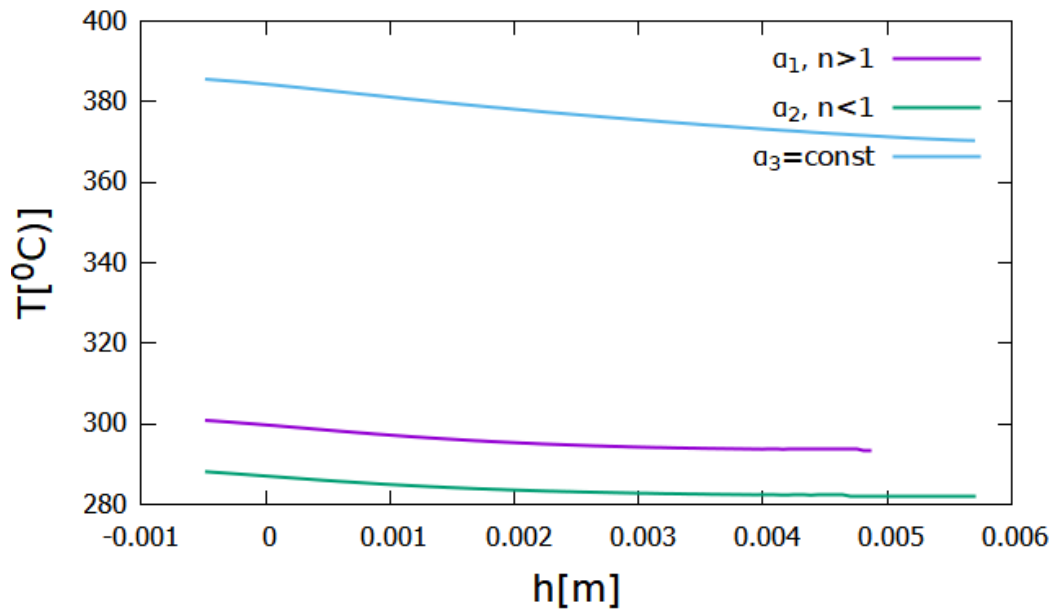


Рис.9

Изменение температуры с учетом вынужденной конвекции для медного профиля $\lambda = 380$ [Вт/м°C]

Из рисунков 7-9 видно, что градиент температуры материала зависит от характера поведения функции теплоотдачи и для разных конструкций ведет себя по-разному.

Изменение температуры при постоянном коэффициенте теплоотдачи отличается от значений температурных полей, найденных при выпуклой форме графика функции теплоотдачи. Так для алюминия разница составляет 190[°C], для меди 182[°C], для железа 160[°C]. Разница между выпуклой и вогнутой формой функции теплоотдачи для алюминия и меди составляет 10-15[°C], а для железа почти не имеет значения.

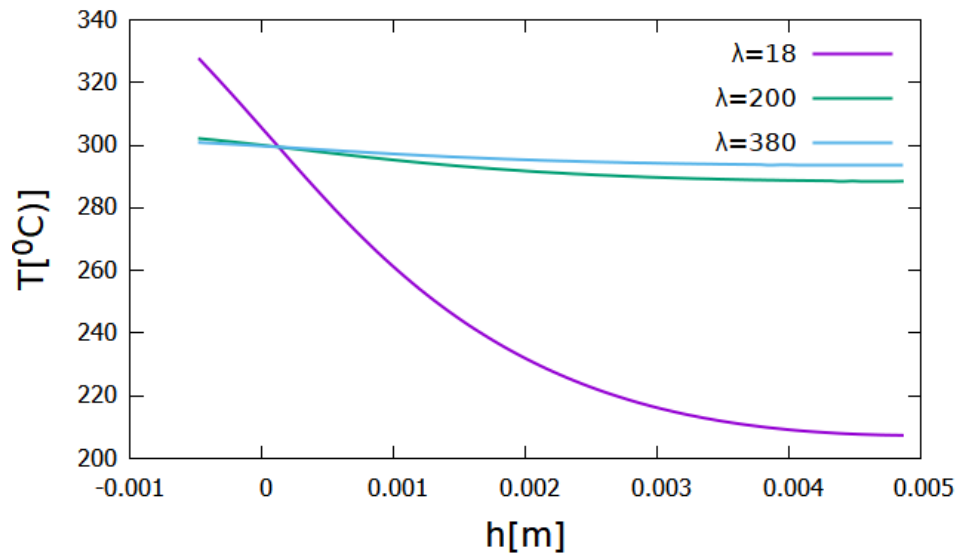


Рис.10

Изменение температурного поля для разных материалов при вогнутой форме графика функции теплоотдачи

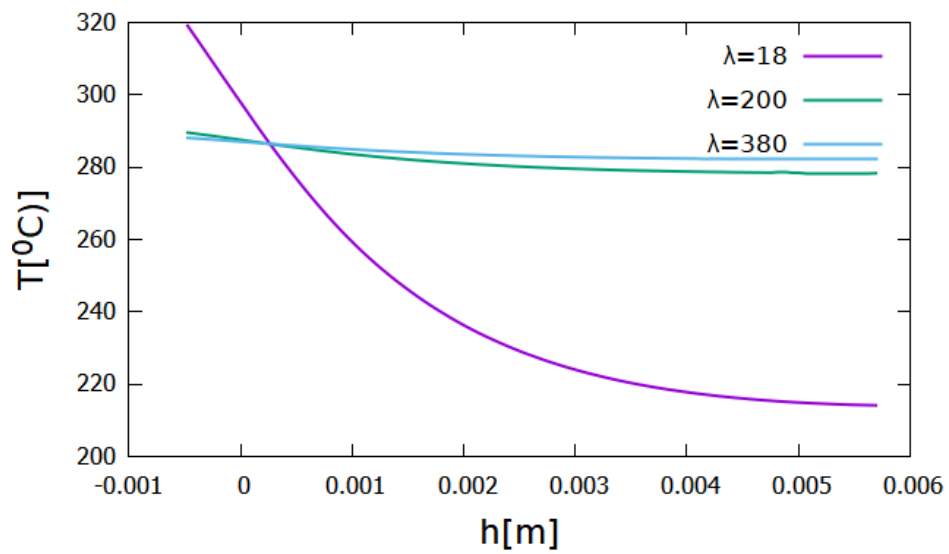


Рис.11

Изменение температурного поля для разных материалов при выпуклой форме графика функции теплоотдачи

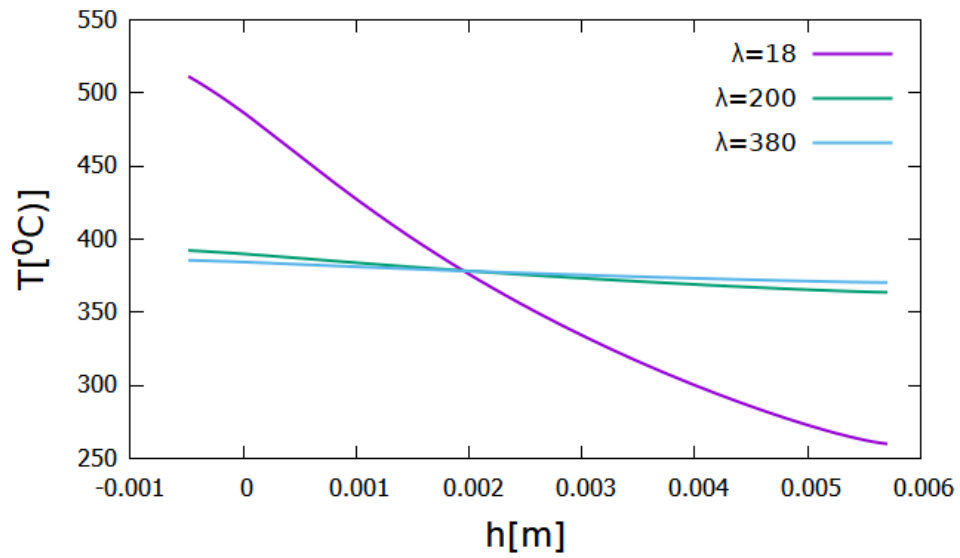


Рис.12

Изменение температурного поля для разных материалов при постоянном коэффициенте теплоотдачи

Из рисунков 10-12 видно, что градиент температуры сильно зависит от изменений функции коэффициента теплоотдачи.

Распространение тепла в кольцевых ребрах.

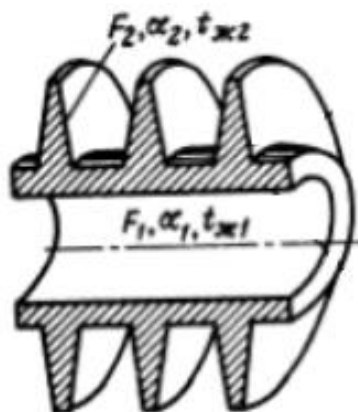


Рис.13

Рассматривается кольцевое оребрение поверхности твэла с целью снижения общего термического сопротивления системы(рис.13).

Дифференциальное уравнение и граничные условия для описания температурного поля в ребре и несущей стенке получены из уравнений баланса тепловых потоков, передаваемых через оребренную стенку.

Расчет двумерного температурного поля в области сложной формы при граничных условиях, характерных для теплопередачи оребренной стенки проведен численно-аналитическим методом с использованием пакета конечно-элементного анализа FreeFem++.

При вынужденной конвекции коэффициент теплоотдачи при обтекании труб с кольцевым оребрением меняется неравномерно. На передней стороне коэффициент теплоотдачи падает от вершин ребра к основанию. На задней стороне распределение коэффициентов теплоотдачи сложнее: максимальные значения идут непосредственно у вершины и в средней части ребра [3], рис.14

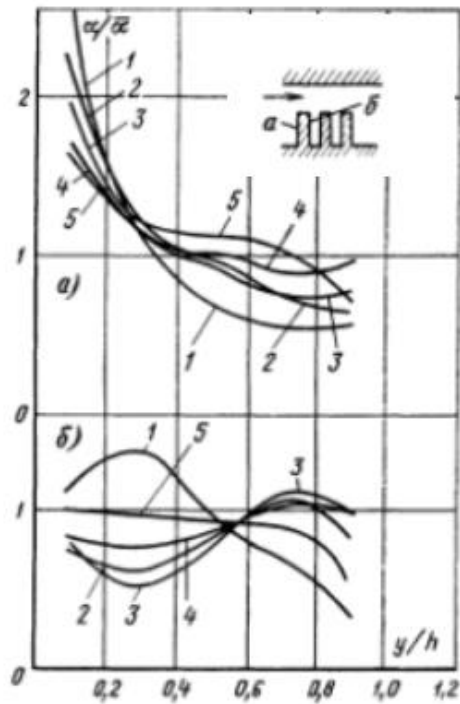


Рис.14

Локальная теплоотдача кольцевых ребер.

Такое распределение объясняется вихревым характером движения в промежутке между ребрами. В работе проведен расчет для теплового потока $Q = 1.2 \cdot 10^2$ [Вт], на ребре длиной $L = 8.4 \cdot 10^{-3}$ [м] и $t_{c1} = 400$ [°C] – температура теплоносителя. Проведем расчет для металлической конструкции с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 18$ [Вт/м°C].

Плотность теплового потока, проходящего через площадь:

$$S = 2\pi(r_1 - r_{06})(b + \delta) = 8 \cdot 10^{-4} \text{ [м}^2\text{]},$$

найдем по формуле:

$$q_c = \frac{Q}{S} = \frac{1.2 \cdot 10^2}{8 \cdot 10^{-4}} = 146282 \text{ [Вт/м}^2\text{]}.$$

Коэффициент теплоотдачи у вершины ребра принят равным: $\bar{\alpha}_h = 60 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{°C}} \right]$. Значение коэффициента теплоотдачи у основания ребра на переднем фронте рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{01} = \frac{q_c}{T_2 - T_{ж}},$$

где T_2 – температура несущей стенки со стороны теплоносителя.

$$T_2 = 400 - \frac{q_c \log\left(\frac{r_1}{r_1 - r_{06}}\right)}{2\lambda} = 234.124 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

Отсюда:

$$\alpha_{01} = \frac{146282}{234.1 - 400} = 1090.65 \text{ [Вт/м}^\circ\text{C]}.$$

График распределения коэффициентов теплоотдачи на переднем фронте кольцевого ребра представлен на рис.15

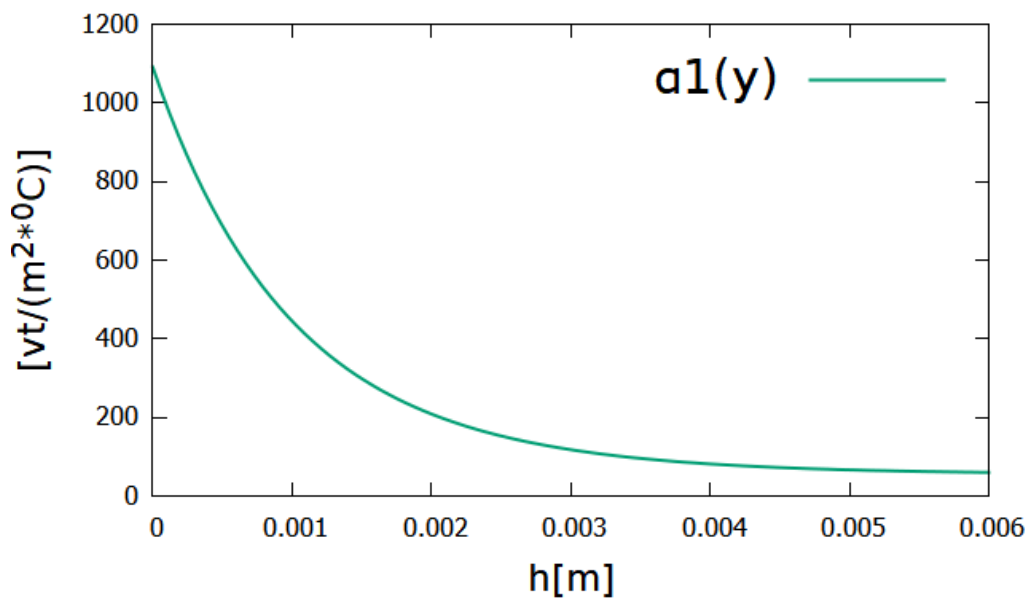


Рис.15

Закон распределения коэффициента теплоотдачи α_1 имеет вид:

$$\alpha_1(r) = \frac{(r_1 * r_2)^n}{r_2^h - r_1^h} * r^{-h} + \frac{\alpha_h r_2^h - \alpha_{01} r_1^h}{r_2^h - r_1^h}.$$

График распределения коэффициента теплоотдачи на заднем фронте кольцевого ребра представлен на рис.16

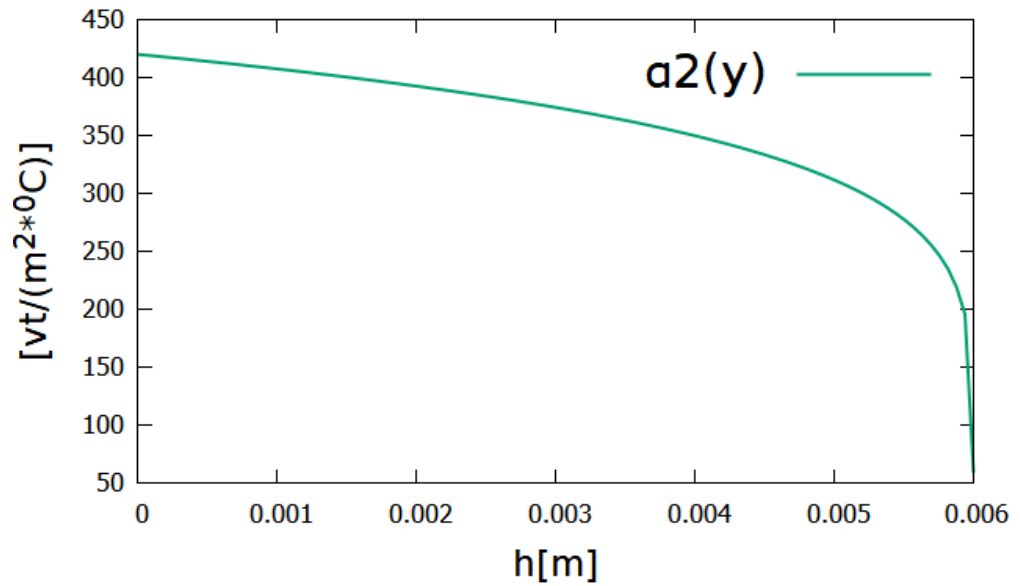


Рис.16

Закон распределения коэффициента теплоотдачи α_2 имеет вид:

$$\alpha_2(r) = \left(\varepsilon^{\frac{1}{m}} - \left(\varepsilon^{\frac{1}{m}} - 1 \right) \frac{r - r_1}{r_2 - r_1} \right)^m,$$

где

$$\varepsilon = \frac{\alpha_{02}}{\alpha_h} = 150.$$

Рассмотрим кольцевое ребро. Поперечный разрез вместе с несущей стенкой обозначим через Ω , границу всей области через $\Gamma_0 = \bigcup_{i=0}^7 \Gamma_i$, рис.17

Уравнение теплопроводности в цилиндрической системе координат:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0.$$

Поставим граничные условия:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}_1} \Big|_{\Gamma_1} = -\alpha_1(r)(T - T_{ж}) \Big|_{\Gamma_1},$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}_2} \Big|_{\Gamma_2} = -\alpha_2(r)(T - T_{ж}) \Big|_{\Gamma_2},$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_3} = \alpha_h(T - T_{ж}) \Big|_{\Gamma_3},$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_6} = \alpha_{01}(T - T_{\text{ж}}) \Big|_{\Gamma_6},$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_7} = \alpha_{02}(T - T_{\text{ж}}) \Big|_{\Gamma_7},$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_{4,5}} = 0,$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_8} = q_0,$$

Описание границ:

$$\Gamma_1 = \left\{ (r; z): z(r) = -\frac{\delta}{2} \left(\frac{r}{r_1}\right)^{-p}, \quad r_1 \leq r \leq r_2 \right\};$$

$$\Gamma_2 = \left\{ (r; z): z(r) = \frac{\delta}{2} \left(\frac{r}{r_1}\right)^{-p}, \quad r_1 \leq r \leq r_2 \right\};$$

$$\Gamma_3 = \left\{ (r; z): -\frac{\delta}{20} \leq z \leq \frac{\delta}{20}, \quad r = r_2 \right\};$$

$$\Gamma_{4,5} = \{(r; z): r = -b; r = b, \quad r_1 \leq r \leq r_2 \};$$

$$\Gamma_{6,7} = \left\{ (r; z): -\frac{\delta}{2} - \frac{\delta}{20} \leq z \leq -\frac{\delta}{20}, \quad \frac{\delta}{20} \leq z \leq \frac{\delta}{2} + \frac{\delta}{20}; \quad r = r_1 \right\};$$

$$\Gamma_8 = \{(r; z): -b \leq z \leq b, \quad z(r) = r_1 - r_{06} \};$$

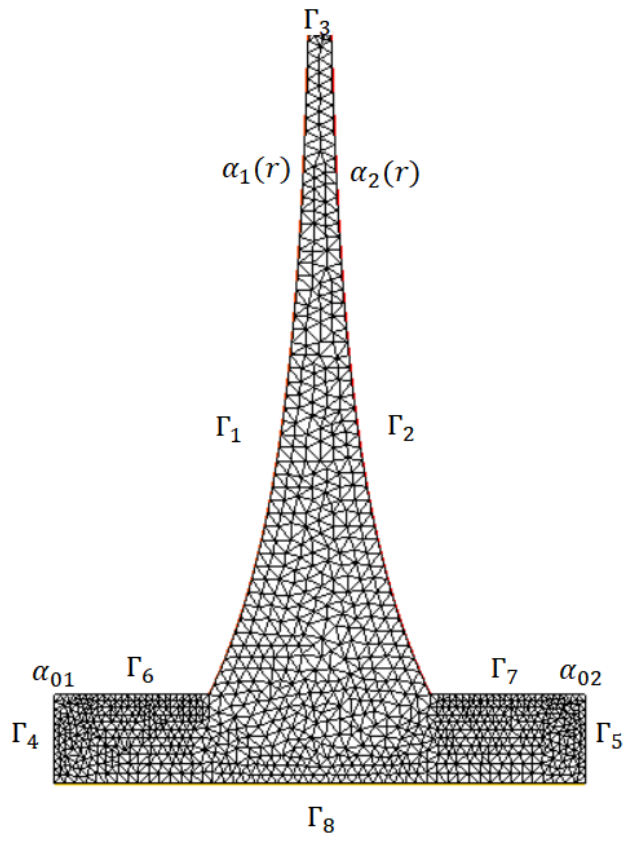


Рис.17

Расчетная область кольцевого ребра

Обсуждение полученных результатов.

Расчет выполнен в пакете конечно-элементного анализа FreeFem++. Текст скрипта представлен в приложении 2.

Геометрические параметры расчета:

$$b = 6 \cdot 10^3;$$

$$\delta = 2 \cdot 10^3;$$

$$S = 0.4b;$$

$$r_1 = 20 \cdot 10^{-3};$$

$$r_2 = 26 \cdot 10^{-3};$$

$$r_{об} = 0.8 \cdot 10^{-3}.$$

Распределение температурного поля с учетом вынужденной конвекции представлено на рис.18:

Bi= 0.00666667 , b= 0.006, delta= 0.002

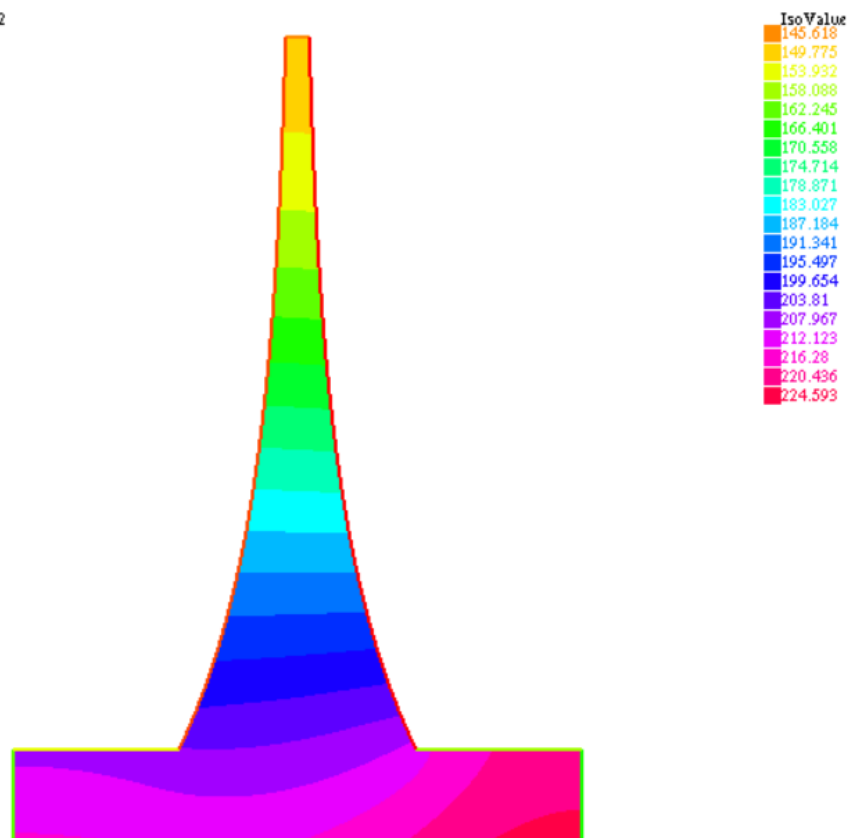


Рис.18

Распределение температуры в кольцевом ребре с основанием для металлического профиля.

Из приведенного на рисунке распределения изотермы в оребрении стенке видно, что с учетом вынужденной конвекции коэффициент теплоотдачи при обтекании труб с кольцевым оребрением меняется неравномерно. На передней стороне коэффициент теплоотдачи падает от вершин ребра к основанию. На задней стороне максимальные значения идут непосредственно у вершины и в средней части ребра.

Распределение температурного поля для металлического профиля представлено на следующих графиках:

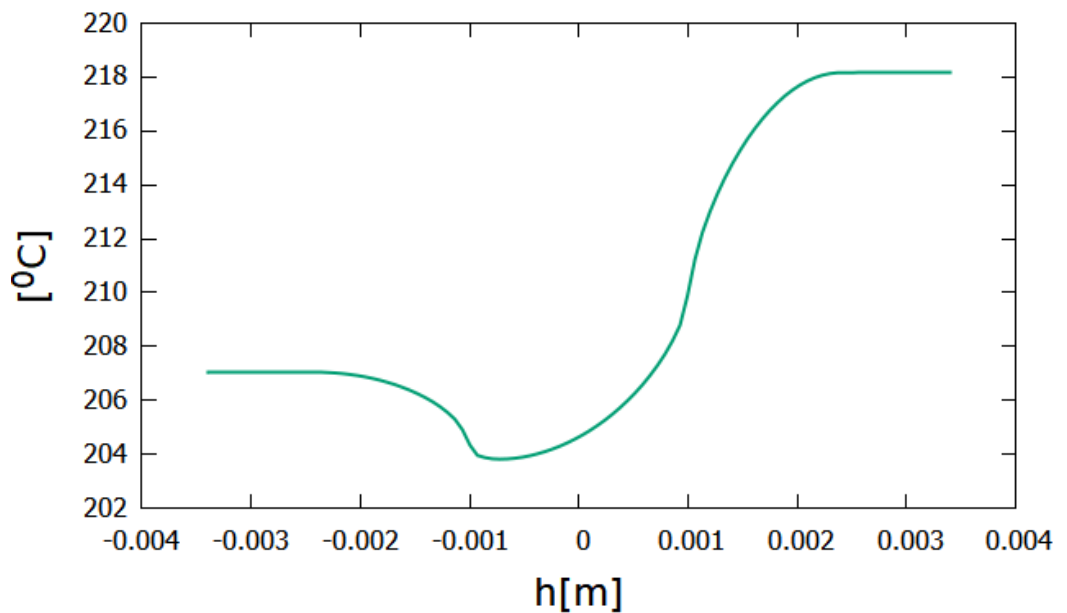


Рис.19

Изменение температуры с учетом вынужденной конвекции в основании для стального профиля $\lambda = 18$ [Вт/м°C]

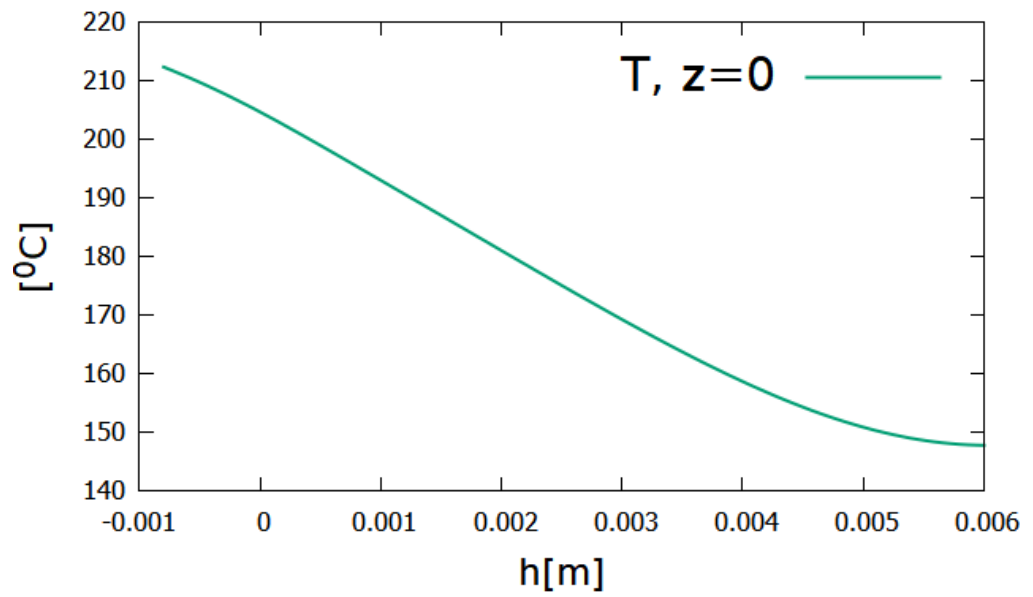


Рис.20

Изменение температуры с учетом вынужденной конвекции от вершины к основанию для стального профиля $\lambda = 18$ [Вт/м°C]

Вывод

Чтобы понять весь спектр факторов, влияющих на эффективность оребрения, потребовалось учесть множество переменных параметров – физические и геометрические размеры конструкции, данные внешней среды, необходимая входная мощность. С помощью программной модели в дипломной работе проанализировано тепловое поведение различных конфигураций ребра при условии вынужденной конвекции, что позволяет быстро выполнять валидацию новых конструкций.

Список литературы

[1] Ф.Г. Решетников, Ю.К. Бибилашвили, И.С. Головнин и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. Книга 1, М.: Энергоатомиздат, 1995.

[2] Piotr Wais, Fin-Tube Heat Exchanger Optimization, 2012

[3] Л.И. Ройзен, И.Н. Дулькин, Тепловой расчет оребренных поверхностей, Москва: «Энергия», 1977

[4] Hecht F., Pironneau O., Le Hyaric A., Ohtsuka K., «FreeFem++»

[5] Latif M. Jiji, EXTENDED SURFACES – FINS, The City College of New York, 2014

[6] Dipl.-Ing. Dr. Friedrich Frass, Principles of Finned-Tube Heat Exchanger Design for Enhanced Heat Transfer - 2nd Edition, Institute for Thermodynamics and Energy Conversion Vienna University of Technology Vienna, Austria, 2015

[7] Чухлов А.Г., Смирнов В.П., Афонин С.Ю., «Применение периодических граничных условий к теплогидравлическому расчету ТВС с оребренными твэлами,» Исследовано в России, 2010.

Приложение 1

```
//параметры ребра
real b=6.*1e-3;           // [м] высота ребра
real delta=2.*1e-3;      // [м] ширина ребра
real L=300.*1e-3;        // [м] длина ребра
real s=0.4*b;            // [м] зазор между ребрами
real rin=0.5*1e-3;       // [м] ширина оболочки

real delta0=delta/delta;
real b0=b/(delta);
real te=(delta/20.)/delta;
real L0=L/delta;
real s0=s/delta;
real rin0=rin/delta;

real r=20.*1e-3;         // [м] радиус трубы
real r0=r/delta;
real y0=sqrt(r0^(2.)-(delta0/2.)^(2.)); // центр трубы

int m=20;
real l=2.; // степень функции границы

//border C0(t=-delta0/2.,delta0/2.) { x = t; y = 0.;}
border C0(t=pi/2.+asin(delta0/(2.*r0)),pi/2.-asin(delta0/(2.*r0)))
{ x = r0*cos(t); y =-y0+r0*sin(t);}
border C1(t=-delta0/2.,-te) { x = t; y
=b0*(1.+(2./delta0)*t)^(1);}
border C2(t=te,delta0/2.) { x = t; y =b0*(1.-(2./delta0)*t)^(1);}
border C3(t=-te,te) { x = t; y =b0*(1.-(2./delta0)*te)^(1);}
border
S01(t=pi/2.+asin((delta0+s0)/(2*r0)),pi/2.+asin(delta0/(2.*r0))) {
x = r0*cos(t); y =-y0+r0*sin(t);}
border S02(t=pi/2.-asin(delta0/(2.*r0)),pi/2.-
asin((delta0+s0)/(2*r0))) { x = r0*cos(t); y =-y0+r0*sin(t);}
border S0(t=pi/2.+asin((delta0+s0)/(2*r0)),pi/2.-
asin((delta0+s0)/(2*r0))) { x = (r0-rin0)*cos(t); y =-y0+(r0-
rin0)*sin(t);}
border l0(t=r0-rin0,r0) {x = t*cos(pi/2.-
asin((delta0+s0)/(2*r0))); y =-y0+t*sin(pi/2.-
asin((delta0+s0)/(r0*2)));}
border l1(t=r0-rin0,r0) {x =
t*cos(pi/2.+asin((delta0+s0)/(2*r0))); y =-
y0+t*sin(pi/2.+asin((delta0+s0)/(2*r0)));}

mesh Th =buildmesh(C1(-m)+C2(-m)+C3(-5)+S01(-m/4)+S02(-
m/4)+S0(2*m)+l0(m/2)+l1(-m/2));

plot(C1(m)+C2(m)+C3(5)+S01(m)+S02(m)+S0(2*m)+l0(m/2)+l1(m/2));
plot(Th, fill=1, wait=1,value=1);
```

```

// Данные потока
real qc=8.*1e5; // [Вт/м^2]

real lambda=18.;
real Tc3=100.; // [C] внизу
real Tc5=70.;
real Tc7=50.; // на верху

real T2=400.-qc*(rin)/lambda;
real alpha0=qc/(T2-Tc3); // [Вт/м^2*C]
real alphah=50.; // [Вт/м^2*C]
real n=3.;

real eps=alpha0/alphah;
real q=lambda/(qc*delta);
real Bi=delta*alphah/(lambda);

func alphaf=(eps^(1./n)-(eps^(1./n)-1)*y/(b0*(1.-(2./delta0)*te)^(1))))^(n);

fespace Vh(Th,P2);

Vh al;
al=alphaf*alphah;
real als=int1d(Th,C1)(al)/b0;

ofstream gnu("alpha.dat");

int M=100;

real tau=-(delta0/2.-te)/M;

for (int k=0;k<=M;k++){
    real yy=b0*(1.-(2./delta0)*(delta0/2.+k*tau))^(1);
    real alphayy=alphah*(eps^(1./n)-(eps^(1./n)-1)*yy/(b0*(1.-(2./delta0)*te)^(1))))^(n);

    gnu << yy<< " "
        << alphayy/als<<
        endl;
}

plot(cmm="alpha", al, fill=1, wait=1,value=1);
cout<<"T2="<<T2<<endl;
cout<<"alpha0="<<alpha0<<endl;
cout<<"als="<<als<<endl;
cout<<"qc="<<qc<<endl;
cout<<"Bi="<<delta*als/(lambda)<<endl;

```

```

cout<<"q="<<q<<endl;

Vh T,Q;

solve tempcor(T,Q) =
    int2d(Th) (dx(T)*dx(Q) + dy(T)*dy(Q) )+
    int1d(Th,C1) (Bi*alphaf*T*Q) -
int1d(Th,C1) (Bi*alphaf*Tc5*q*Q)+
    int1d(Th,C2) (Bi*alphaf*T*Q) -
int1d(Th,C2) (Bi*alphaf*Tc5*q*Q) -
    int1d(Th,S0) (1.*Q)+
//    int2d(Th) ((delta/(2.*A))*Q)
    int1d(Th,C3) (Bi*T*Q)-int1d(Th,C3) (Bi*Tc7*q*Q)+
    int1d(Th,S01,S02) (Bi*eps*T*Q) -
int1d(Th,S01,S02) (Bi*eps*Tc3*q*Q)
;

Vh T1;
T1=T/q;

plot(T1,cmm ="r= " + r + " , b= " + b +", delta= " +delta, fill=1,
wait=1,value=1);

ofstream gnu1("Tempercentr13.dat");
real L1=b0*(1.-(2./delta0)*te)^(1)-(-y0+(r0-rin0));
real h1=L1/100.;
cout<<"L1="<<L1<<endl;

for (int p=0;p<=100;p++){
    real yy1=-y0+(r0-rin0)+p*h1;

    gnu1 << yy1*delta<< " "
        << T1(0,yy1)<<
        endl;
}

```

Приложение 2

```
//параметры ребра
real b0=6.*1e-3; // [м] высота ребра
real delta0=2.*1e-3; // [м] ширина ребра
real LL=400.*1e-3; // [м] длина ребра
real s0=0.4*b0; // [м] зазор между ребрами
real r10=20*1e-3; // [м] ширина оболочки
real rob0=0.8*1e-3;

real r20=b0+r10; // [м] радиус трубы
real rob=rob0/r20;
real r1=r10/r20;
real r2=r20/r20;
real delta=delta0/r20;
real b=b0/r20;
real te=(delta0/20.)/r20;
real L=LL/r20;
real s=s0/r20;

real Tmax=300;
func Tc0=100; // температура у основания
func Tc=Tc0/Tmax;

real l=10.; // степень функции границы
real a=(delta/2.-te)/((r2/r1)^l-1);
real x0=te-a;

int m=50;

border C1(t=r1,r2) { x = a*t^(-l)+x0; y =t;}
border C2(t=r1,r2) { x =-(a*t^(-l)+x0); y =t;}
border C3(t=-te,te) { x = t; y = r2;}
border L0(t=-s,s) { x = t; y =r1-rob;}
border L1( t=-s,-delta/2.) { x = t; y =r1;}
border L2(t=delta/2.,s) { x = t; y =r1;}
border L3(t=r1-rob,r1) { x = -s; y =t;}
border L4(t=r1-rob,r1) { x = s; y =t;}

plot (C1 (m)+C2 (-m)+C3 (-m/4)+L0 (m)+
L1 (-m/2)+L2 (-m/2)+L3 (-m/4)+L4 (m/4) );

mesh Th =buildmesh (C1 (m)+C2 (-m)+C3 (-m/4)+L0 (m)+L1 (-m/2)+L2 (-
m/2)+L3 (-m/4)+L4 (m/4) );

plot (Th, fill=1, wait=1,value=1);
```

```

//    Данные потока

real Qv=1.2*1e2;
real F=2.*pi*(r10-rob0)*(2*s0+delta0);
real qc=Qv/F;      // [Вт/м^2]

real lambda=18.;
real Tc3=100.;    //[C]   внизу
real Tc5=70.;
real Tc7=50.;    // на верху

real T2=400.-qc*(log(r1/(r1-rob)))/(2.*lambda);
real alphah=60.;    // [Вт/м^2*C]
real alpha01=qc/(T2-Tc3);    // [Вт/м^2*C]
//real alpha01= alphah*7.;    // [Вт/м^2*C]
real alpha02= alphah*7.;    // [Вт/м^2*C]
real n1=20.;
real n2=1./6.;

real eps1=alpha01/alphah;
real eps2=alpha02/alphah;
//real q=lambda/(qc*log(rob/r1));
real Bi=delta0*alphah/(lambda);

//func alphaf1=(eps1^(1./n1)-(eps1^(1./n1)-1.)*(y-r1)/(r2-
r1))^n1);
func alphaf1=((r1*r2)^n1*(alpha01-alphah)/(r2^n1-r1^n1))*y^(-
n1)+(alphah*r2^n1-alpha01*r1^n1)/(r2^n1-r1^n1);
func alphaf2=(eps2^(1./n2)-(eps2^(1./n2)-1.)*(y-r1)/(r2-r1))^n2);

fespace Vh(Th,P2);

Vh al1= alphaf1, al2= alphah*alphaf2;
real sa1=int1d(Th,C2)(al1);
real sa2=int1d(Th,C1)(al2);

cout<<"sa1="<<sa1<<endl;
cout<<"sa2="<<sa2<<endl;
cout<<"T2="<<T2<<endl;
cout<<"alpha01="<<alpha01<<endl;
cout<<"F="<<F<<endl;
cout<<"qc="<<qc<<endl;

ofstream gnu1("alpha1.dat");
ofstream gnu2("alpha2.dat");
int M=100;

real tau=b/M;

for (int k=0;k<=M;k++){

```

```

    real tt=r1+k*tau;
    real xx1=a*tt^(-1)+x0;
    real xx2=-a*tt^(-1)+x0;
    real alpha1= ((r1*r2)^n1*(alpha01-alpha0h)/(r2^n1-r1^n1))*tt^(-
n1)+(alpha0h*r2^n1-alpha01*r1^n1)/(r2^n1-r1^n1);
    //real alpha1=(eps1^(1./n1)-(eps1^(1./n1)-1.)*(tt-r1)/(r2-
r1))^n1);
    real alpha2=(eps2^(1./n2)-(eps2^(1./n2)-1.)*(tt-r1)/(r2-
r1))^n2);

    gnu1 << tt*r20-r10<<" "<< alpha1<<endl;
    gnu2 << tt*r20-r10<<" "<< alpha0h*alpha2<<endl;
}

```

```

plot(cmm="alpha1", a11, fill=1, wait=1,value=1);
plot(cmm="alpha2", a12, fill=1, wait=1,value=1);

```

Vh T,Q;

```

solve tempcor(T,Q) =
    int2d(Th) (dx(T)*dx(Q) + dy(T)*dy(Q)-dy(T)*Q/y )+
    int1d(Th,C1) (Bi*(r20/delta0)*alpha0f2*T*Q) -
int1d(Th,C1) (Bi*(r20/delta0)*alpha0f2*(Tc5/Tmax)*Q)+
    int1d(Th,C2) (Bi*r20/(delta0*alpha0h)*alpha0f1*T*Q) -
int1d(Th,C2) (Bi*r20/(delta0*alpha0h)*alpha0f1*(Tc5/Tmax)*Q)+
    int1d(Th,C3) (Bi*(r20/delta0)*T*Q) -
int1d(Th,C3) (Bi*(r20/delta0)*(Tc7/Tmax)*Q)+
    int1d(Th,L1) (Bi*(r20/delta0)*eps1*T*Q) -
int1d(Th,L1) (Bi*(r20/delta0)*eps1*(Tc3/Tmax)*Q)+
    int1d(Th,L2) (Bi*(r20/delta0)*eps2*T*Q) -
int1d(Th,L2) (Bi*(r20/delta0)*eps2*(Tc3/Tmax)*Q)-
    int1d(Th,L0) (qc*r20/(lambda*Tmax)*Q)
;

```

Vh T1;
T1=T*Tmax;

```

plot(T1,cmm ="Bi= " + Bi +" , b= " + b0 +" , delta= " +delta0,
fill=1, wait=1,value=1);

```

```

ofstream gnuTh3("temp3.dat");
ofstream gnuTd4("temp4.dat");

```



```

tau=(r2-r1+rob)/M;
real tau1=(2.*s+delta)/M;

for (int k=0;k<=M;k++){
  real yy=r1-rob+k*tau;
  real xx=-(s+delta/2)+k*tau1;

  gnuTh3 << yy*r20-r10<<" "<< T1(0.,yy)<<endl;
  gnuTd4 << xx*r20<<" "<< T1(xx,r1)<<endl;
}

```



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»

Инженерная школа

Кафедра механики и математического моделирования

ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ НА ВКР

на выпускную квалификационную работу студента:

Ковальчука Алексея Андреевича

направление подготовки 15.04.03 «Прикладная механика» группа М3208

Руководитель ВКР: к.ф.-м.н., доцент кафедры МиММ ИШ ДВФУ

Амосова Елена Владимировна

На тему «Анализ влияния неоднородного распределения коэффициентов теплоотдачи на эффективность оребренных поверхностей»

Дата защиты ВКР «05» июля 2018 г.

В дипломной работе Ковальчука А.А. на основе математического моделирования проведен анализ влияния неоднородности внешнего потока на тепловое поведение оребренных теплопередающих поверхностей различной конструкции. Для увеличения эффективного коэффициента теплопередачи в технике широко используется оребрение теплопередающих поверхностей. Форма оребрения весьма разнообразна. Применяют продольные, поперечные, трапециевидные ребра, ребра в виде шипов, кольцевые и т. д. Оребрение не только увеличивает поверхность теплообмена, но и оказывает большое влияние на гидродинамику потока, а тем самым и на коэффициент теплоотдачи. Численное моделирование позволяет оптимизировать устройства без сложностей и значительных затрат, связанных с изготовлением прототипов.

Алексеем Андреевичем изучены вопросы описания коэффициентов переноса, постановки граничных условий, входных участков, формулировки замыкающих соотношений уравнений описывающих распределение тепла.

Расчетное моделирование теплового поведения ребра проведено на основе уравнений баланса тепловых потоков, передаваемых через оребренную стенку. Для реализации численного метода использовалась интегрированная среда пакета FreeFem++.

В процессе подготовки работы Ковальчук А.А. проявил творческий подход к поставленной проблеме, а результаты работы говорят об умении соискателя самостоятельно применять и использовать полученные знания в дальнейшем.

Считаю, что работа Ковальчука А.А. заслуживает оценки «отлично», ее автор – присвоения ему ученой степени магистра по направлению подготовки 15.04.03 «Прикладная механика».

Руководитель ВКР

«03» июль

К.Ф. - И.И., студент

Уч. степень и звание

2018 г.



подпись

Амосова Е.В.

И.О. Фамилия

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу студента:

Ковальчука Алексея Андреевича

направление подготовки 15.04.03 «Прикладная механика» группа М3208

Руководитель ВКР: к.ф.-м.н., доцент кафедры МиММ ИШ ДВФУ

Амосова Елена Владимировна

На тему «Анализ влияния неоднородного распределения коэффициентов теплоотдачи на эффективность оребренных поверхностей»

Дата защиты ВКР «05» июля 2018 г.

1. Актуальность ВКР: температурные поля и теплоотдача в активных зонах реакторов зависят от физических свойств, режима течения теплоносителя и от конструкции твэлов и относительного шага их распределения. Для увеличения эффективного коэффициента теплопередачи в технике широко используется оребрение теплопередающих поверхностей. Форма оребрения весьма разнообразна.
2. Достоинства работы: Ковальчуком А. А. обработано достаточно большое количество научного материала, на высоком теоретическом и методологическом уровне проведено исследование особенностей распространения температурного поля в ребре и несущей стенке оребренной поверхности. Материал в выпускной квалификационной работе изложен с соблюдением внутренней логики, между разделами прослеживается логическая взаимосвязь;
3. Недостатки и замечания: существенных недостатков в работе не выявлено. К сожалению автором не проведён анализ полученных в работе результатов с имеющимися на данный момент исследованиями других авторов;
4. Целесообразность внедрения: моделирование позволило изучать параметры, которые невозможно измерить экспериментально, принимать обоснованные интересные решения и оптимизировать конструкцию оребренной поверхности;

5. Общий вывод: автор выпускной квалификационной работы показал отличную способность формулировать собственную точку зрения по рассматриваемой проблеме. Сформулированные в работе выводы достаточно обоснованы и могут быть использованы в практической деятельности. Существенных недостатков в дипломной работе не выявлено. Представленная на защиту выпускная квалификационная работа отвечает предъявленным требованиям и заслуживает оценки «отлично», а её автор заслуживает присвоения магистра по направлению подготовки 15.04.03 «Прикладная механика».

Оценка отлично

Рецензент ст.н.с. ИПМ ДВО РАН, к.ф.-м.н.

8

Р.В.Бризицкий

(должность по основному месту работы, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

(и.о.ф.)

«03»

М.П.



*16 Бризицкого Р.В.
Завещено*

Вед. зам. зав. кафедрой ИГиМ ДВО РАН

И.И. Токарева