

A 2010
6070

28.11.10

УДК 539.3

На правах рукописи

Жумадиллаева

ЖУМАДИЛЛАЕВА АЙНУР КАНАДИЛОВНА

Численное моделирование установившегося поля распределения температуры в трехмерных телах при одновременном наличии локальной температуры, теплового потока, теплоизоляции и теплообмена

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Республика Казахстан
Алматы, 2010

536

Ж 88

Работа выполнена в Алматинском гуманитарно-техническом университете.

Научные руководители: доктор физико-математических наук,
профессор Кудайкулов А.К.

доктор физико-математических наук,
профессор Серикбаев А.У.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Локтионов А.А.

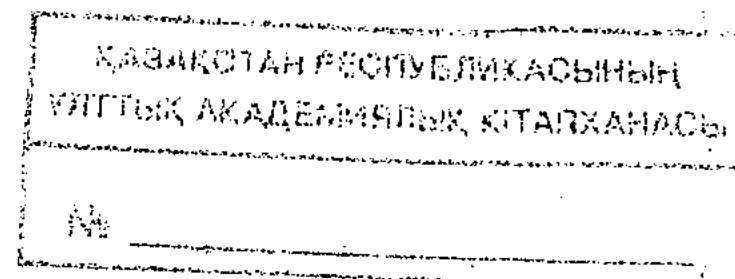
кандидат технических наук,
доцент Мустафин С.А.

Ведущая организация: Национальная инженерная академия
Республики Казахстан

Защита состоится « 21 » декабря 2010 года в 15.00 часов на заседании
Объединенного диссертационного совета ОД 53.12.01 при Институте
математики МОН РК по адресу: 050010, г.Алматы, ул.Пушкина, 125

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
МОН РК (ЦНБ) по адресу: г.Алматы, Шевченко,28

Автореферат разослан « 20 » ноября 2010 г.



Ученый секретарь Объединенного
диссертационного совета ОД 53.12.01
доктор технических наук, профессор

А.Н.Казангапов

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. В диссертационной работе представлены разработки математической модели установившегося поля распределения температуры в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела неограниченной длины находящейся под воздействием локальной температуры, теплового потока и теплообмена. Кроме того, в диссертации разработаны методы, позволяющие исследовать установившееся поле распределения температур в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела, с учетом одновременного воздействия локальной температуры, теплового потока и теплообмена. Для разработанного метода с помощью конечных элементов решена исследуемая задача и построен соответствующий вычислительный алгоритм. С помощью разработанного комплекса прикладных программ на объектно-ориентированном языке Delphi, осуществлена численная реализация этого алгоритма.

Актуальность проблемы. Несущие элементы оборудования технологических узлов перерабатывающей промышленности, двигатели внутреннего сгорания, газотурбинные генераторы работают в сложном тепловом поле. Бурное развитие добычи и глубокой переработки природных богатств и термообработки конструкционных материалов, ставившее перед учеными новые проблемы, требующие разработки соответствующих математических моделей, универсальных вычислительных алгоритмов и методов, позволяющих тщательного исследования температурного состояния частично теплоизолированных трехмерных несущих элементов конструкций при одновременном воздействии локальной температуры, теплового потока и теплообмена. При учете вышеприведенных факторов аналитическое решение задачи установившегося поля распределения температуры в частично теплоизолированном трехмерном теле становится весьма сложной. В связи с этим, естественным образом появляется необходимость разработки соответствующих математических моделей основанных на законе сохранения энергии, универсальных вычислительных алгоритмов, методов и комплексы прикладных программ на объектно-ориентированном языке программирования Delphi. Поэтому разработки соответствующих методов математического моделирования для решения задач установившегося поля распределения температуры, в объеме трехмерного тела с учетом разнородных граничных условий, является важными и актуальными.

Объектом исследования является частично теплоизолированное трехмерное тела четырехугольного сечения неограниченной протяженности, находящегося под воздействием локальной температуры, теплового потока и теплообмена.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является исследование и разработка модели распределения поля температур в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела неограниченной протяженности, находящегося под воздействием локальной температуры, теплового потока и теплообмена.

В рамках сформулированной цели решались следующие задачи:

- построение функционала полной тепловой энергии для трехмерного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины с учетом наличия локальной теплоизоляции, температуры, теплового потока и теплообмена;
- разработка вычислительного алгоритма минимизации постоянного функционала полной тепловой энергии по узловым значениям температуры с использованием четырехугольных конечных элементов с четырьмя узлами;
- определить аналитическое решение задачи распределения поля температур в объеме трехмерного тела с учетом влияния внешних факторов;
- численная реализация алгоритма, исследование его сходимости и устойчивости полученного решения исследуемой задачи.
- разработка соответствующего комплекса прикладных программ, позволяющих решать задачи распределения поля температур для трехмерного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины.

Научная новизна исследования:

- разработана математическая модель установившегося поля распределения температур в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела четырехугольного сечения находящейся под действием локальной постоянной температуры, теплового потока и отрицательной температуры окружающей локальной поверхности среды;
- построен вычислительный алгоритм исследуемой задачи и разработан комплекс прикладных программ на объектно-ориентированном языке программирования Delphi, позволяющий провести серии численных исследований поля распределения температур в объеме трехмерного тела четырехугольного сечения в зависимости от области теплоизоляции, локальной постоянной температуры, теплового потока, теплообмена, от значения температуры окружающей среды и коэффициента теплообмена;
- экспериментально доказано сходимость и точность полученных численных решений;
- разработана модель поля распределения температуры в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела четырехугольного поперечного сечения в зависимости от величины значения коэффициента теплопроводности материала тела, теплового потока, коэффициента теплообмена и ширины тела;
- разработан метод поля распределения температур в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела, с учетом влияния значения подведенного теплового потока на локальную поверхность тела.

Используемые методы и объекты исследования. Исследование базируется на методах следующих областей знаний: системный анализ и теория систем, численные методы, математическое моделирование, методы оптимизации, теория уравнений математической физики, теория термодинамики, механика сплошной среды и деформируемого твердого тела, вариационное исчисление и технология разработки программного обеспечения.

Объектами исследований являются трехмерное тело четырехугольного сечения неограниченной длины, термомеханическое состояние элементов конструкций, термомеханический процесс.

Научные положения, выносимые на защиту:

- построенные функционалы полной тепловой энергии для трехмерного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины с учетом наличия частичной теплоизоляции, локальной температуры, теплового потока и теплообмена;
- разработанные на основе энергетических принципов математические модели установившегося поля распределения температуры в трехмерном теле в зависимости от наличия частичной теплоизоляции, локальной температуры, теплового потока и теплообмена;
- полученные численные решения задач установившегося поля распределения температуры в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела четырехугольного сечения в зависимости от величин значения коэффициента теплопроводности, коэффициента теплообмена, теплового потока, ширины тела и отрицательной температуры окружающей среды:
- разработанные вычислительные алгоритмы, метода и комплекс прикладных программ на объектно – ориентированном языке программирования DELPHI, позволяющие численно решать ряд задач определения установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины с учетом наличия частичной теплоизоляции, локальной температуры, теплового потока и теплообмена;
- полученные численные решения задачи определения установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного тела в зависимости от величины теплоизолированной поверхности, площади поверхности через которую происходит теплообмен с окружающей ее средой, площади, где задана температура и куда подведен тепловой поток.
- выявленные закономерности установившегося поля распределения температуры в зависимости от характера и величины имеющихся источников тепла.

Степень обоснованности и достоверности. Все полученные научные результаты подтверждены строгими математическими доказательствами, численной реализацией и вычислительными экспериментами при решении реальных тестовых задач, что подтверждает высокую степень достоверности и обоснованности каждого научного результата и положений, выносимых на защиту, а также сравнением эффективности существующих результатов в области исследования термомеханических процессов для трехмерного тела.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Разработанные в диссертационной работе математические модели, методы и алгоритмы термомеханического состояния трехмерных тел, могут быть успешно применены для решения многих научных и прикладных подобного рода задач. Научные результаты работы также могут быть использованы в виде информационно материала для специалистов, занимающимся исследованием воздействия термомеханического процесса при проектировании и расчетах каких-либо технических установок в виде прогноза состояния системы,

наиболее реально отображающую картину распределения поля температур по объему трехмерного тела. Также полученные в работе результаты могут быть реализованы в учебном процессе для студентов, магистрантов и докторантов в ВУЗах и научных учреждениях.

Подтверждением вышесказанного могут быть следующие материалы:

1) Акт внедрения результатов работы в ТОО НИИ «Каспиймунайгаз» для исследования установившегося поля распределения температур для трехмерных несущих элементов в нагревательных установках высокопарафинистой нефти.

2) Справка о внедрении в учебном процессе по курсу «Математическое и компьютерное моделирование теплофизических процессов» и «Разработка программ для инженерных задач» на кафедре «Вычислительной техники и программной обеспечении» в Алматинском гуманитарно – техническом университете, а также применяется при проведении НИР студентов старших курсов, магистрантов;

Связь темы с планами научно-исследовательских программ.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планом следующих научно-технических программ МОН РК:

1) «Термо-напряженное состояние деформируемого твердого тела при наличии теплоизоляции, внутренних точечных источников тепла, температуры, теплового потока, теплообмена и наружных поверхностных сил». Шифр проекта Ф.0508 в рамках программы фундаментальных исследований МОН РК, госрегистрационный номер 0109РК00672, инвентарный номер 0209РК01286;

2) «Теоретические основы исследования термонапряженного состояния отдельных элементов ядерных энергетических установок и технологического оборудования» в рамках программы инициативно-рисковых работ МОН РК, госрегистрационный номер 0109РК00667, инвентарный номер 0209РК01591.

Апробация работы. Научные положения и полученные результаты диссертации докладывались на «Международной научно – практической конференций «Современные проблемы математики, механики и информационных технологий»: Талдыкорган – 2006; на Материали за ІУ международна научна практична конференция «Бъдещето проблемите на световната наука -2008», -София, 2008; на Второй Международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии» Казахстанско-Британский технический университет: Алматы -2009; на Международной научно-практической конференции «Механика и строительство транспортных сооружений», посвященная 75-летию Заслуженного деятеля науки и техники Казахстана, академика НАН РК, д.т.н., профессора Айталиева Ш.М: Алматы – 2010; на Международной научно-практической конференции «Казахстанский «Путь в Европу»: экономика, образование и наука» Жетысуский государственный университет им. И.Жансугурова: Талдыкорган – 2010; на V Международной научно-методической конференции «Математическое моделирование и информационный технологии в образовании и науке», посвященной 25-летию информатики школе. КазНПУ им. Абая, Алматы-2010; на научно-методических

семинарах кафедры «вычислительной техники и программное обеспечение» Алматинского гуманитарно – технического университета.

Основные публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 15 научных статьях и сборниках трудов международных конференций, из них 5 в рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК и в 9 в трудах международных научных конференциях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, список используемых источников из 93 наименований и содержит 108 страниц, включая 32 рисунков, 30 и приложения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обосновывается актуальность разработки математической модели установившегося поля распределения температуры в трехмерном теле четырехугольного сечения, неограниченной длины при учете частично теплоизолированной поверхности, локальной температуры, теплового потока и теплообмена, отрицательной температуры окружающей среды, а также соответствующего вычислительного алгоритма, метода и комплекса прикладных программ на DELPHI, позволяющие численно исследовать установившееся поле распределения температуры в объеме трехмерного тела с учетом наличие разнородных граничных условий. Также изложены цели и задачи исследования, отмечена новизна, практическая ценность проводимых исследований и положения, выносимые на защиту. Кроме того, в этом разделе проводится анализ существующих на данный момент научно – исследовательских работ по определению законов распределения поля температур в элементах конструкций.

В первом разделе работы приводится утверждение о том что некая функция которая дающая минимум функционалу характеризует полную тепловую энергию исследуемого тела с учетом наличия частичной теплоизоляции, локальной температуры, теплового потока и теплообмена и является решением задачи об определении установившегося поля распределения температуры в объеме исследуемого тела.

Численно решена задача определения установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины. Ширина исследуемого тела $0 \leq x \leq L_1$, высота $0 \leq y \leq L_2$, длина $-\infty \leq z \leq +\infty$. Верхняя ($y = L_2; 0 \leq x \leq L_1; -\infty \leq z + \infty$) и нижняя ($y = 0; 0 \leq x \leq L_1; -\infty \leq z + \infty$) ребра тела теплоизолированы. На площади левого ребра тела ($x = 0, 0 \leq y \leq L_2; -\infty \leq z + \infty$) подведен тепловой поток постоянной интенсивности q ($Вт/см^2$). Через площади поверхности ($x = L_1; 0 \leq y \leq L_2; -\infty \leq z + \infty$) происходит теплообмен с окружающей ее средой. (рисунок 1). При этом температура окружающей среды $T_{oc} < 0$.

Для этой задачи выражение функционала которое характеризует ее полную тепловую энергию имеет следующий вид

$$J = \int_V \frac{1}{2} \left[K_{xx} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + K_{yy} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + K_{zz} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] dV + \int_{S_0} q T dS + \int_{S_r} \frac{h}{2} (T - T_{oc})^2 dS \quad (1)$$

где V - объем тела; S_0 - площадь поверхности ($x = 0, 0 \leq y \leq L_2; -\infty \leq z + \infty$) куда подведен тепловой поток q ; S_r - площадь поверхности ($x = L_1; 0 \leq y \leq L_2; -\infty \leq z + \infty$) через которого происходит теплообмен; h - коэффициент теплообмена.

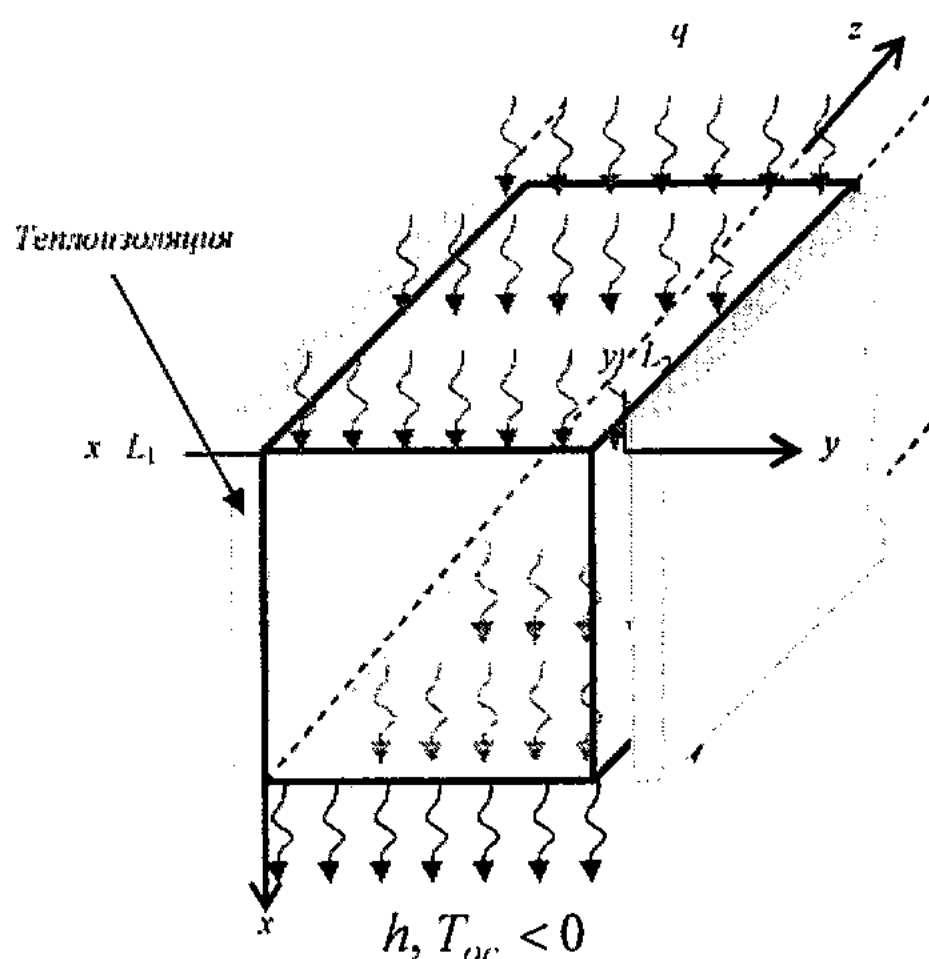


Рисунок 1- Расчетная схема задачи

При этом коэффициент теплообмена h ($Вт/(см^2 \cdot ^\circ C)$), а температура этой окружающей среды T_{oc} ($^\circ C$). Коэффициент теплопроводности по направлениям осей координат материала бруса K_{xx}, K_{yy} ($Вт/(см \cdot ^\circ C)$). При решении этой задачи были приняты следующие исходные данные $L_1 = 10 см$; $L_2 = 6 см$; $q = -50 \frac{Вт}{см^2}$; $K_{xx} = K_{yy} = 75 \frac{Вт}{см \cdot ^\circ C}$; $h = 10 \frac{Вт}{см^2 \cdot ^\circ C}$; $T_{oc} = -10^\circ C$.

В целях численного исследования сходимости, устойчивости и точности получаемых численных результатов, плоскость $z = const$ дискретизировалось $1; 2 \times 2; 3 \times 3; 4 \times 4$; четырехугольными элементами с четырьмя узлами. Было выявлено, что при решении выше рассмотренной задачи с соответствующими граничными условиями, применение энергетического принципа даже при дискретизации расчетной области одним четырехугольным элементом с

четырьмя узлами полученное численное решение совпадает с точным решением задачи.

Во втором разделе численно исследуется установившееся поле распределения температуры в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела четырехугольного сечения. При этом на левой боковой поверхности ($x = 0; 0 \leq y \leq L_2; -\infty \leq z \leq +\infty$) тела подведен тепловой поток постоянной интенсивности $q = -1000 \frac{Вт}{см^2}$; Через площади правой боковой поверхности ($x = L_1; 0 \leq y \leq L_1; -\infty \leq z \leq +\infty$) происходит теплообмен с окружающей этой поверхности средой. При этом температура окружающей среды $T_{oc} < 0$. Верхние ($y = L_2; 0 \leq x \leq L_1; -\infty \leq z \leq +\infty$) и нижние ($y = 0; 0 \leq x \leq L_1; -\infty \leq z \leq +\infty$) полностью теплоизолированы. При этом

$$L_1 = L_2 = 20 \text{ м}; K_{xx} = K_{yy} = K_{zz} = K = 75 \frac{Вт}{см \cdot ^\circ C}; h = 6 \frac{Вт}{см^2 \cdot ^\circ C}; \quad \text{Температуры}$$

окружающей среды, варьировалось $T_{oc} \in [-20^\circ C; -40^\circ C; -60^\circ C; \dots; -200^\circ C]$. Выявлено, что с уменьшением значения температуры окружающей среды, узловые значения температуры уменьшается и эта зависимость имеет линейный характер.

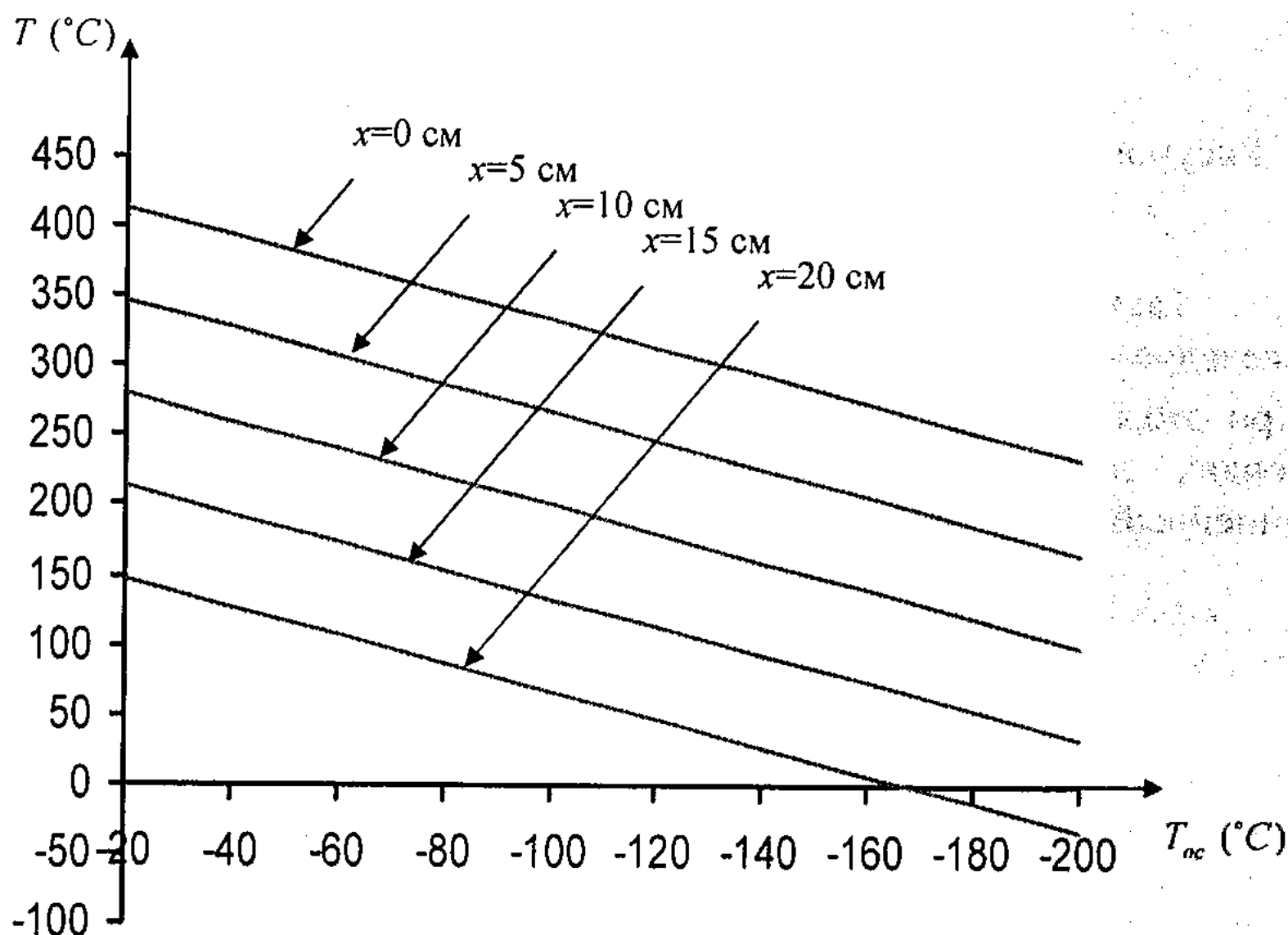


Рисунок 2 – Зависимость значения температуры в фиксированных сечениях $x = 5 \times i, i \in (0 \div 4), 0 \leq y \leq L_2$ от температуры окружающей среды

В этой задаче фиксируя значения $h = 6 \frac{Вт}{см^2 \cdot ^\circ C}$; $T_{oc} = -20^\circ C$; $L_1 = L_2 = 20 см$; $q = -1000 \frac{Вт}{см^2}$; При этом значения коэффициентов теплопроводности материала тела варьировалось с пределов $K_{xx} = K_{yy} = K_{zz} = K \in [75; 80; 85; \dots; 120] \frac{Вт}{см \cdot ^\circ C}$; Здесь выявлено, что не зависимо от значения коэффициента теплопроводности значение температуры в точках поверхности ($y = 0; 0 \leq x \leq L_1; -\infty \leq z \leq +\infty$), где происходит теплообмен не меняется. В точках остальных плоскостей с увеличением значения коэффициента теплопроводности значения температуры понижается, но имеет слабый нелинейный характер.

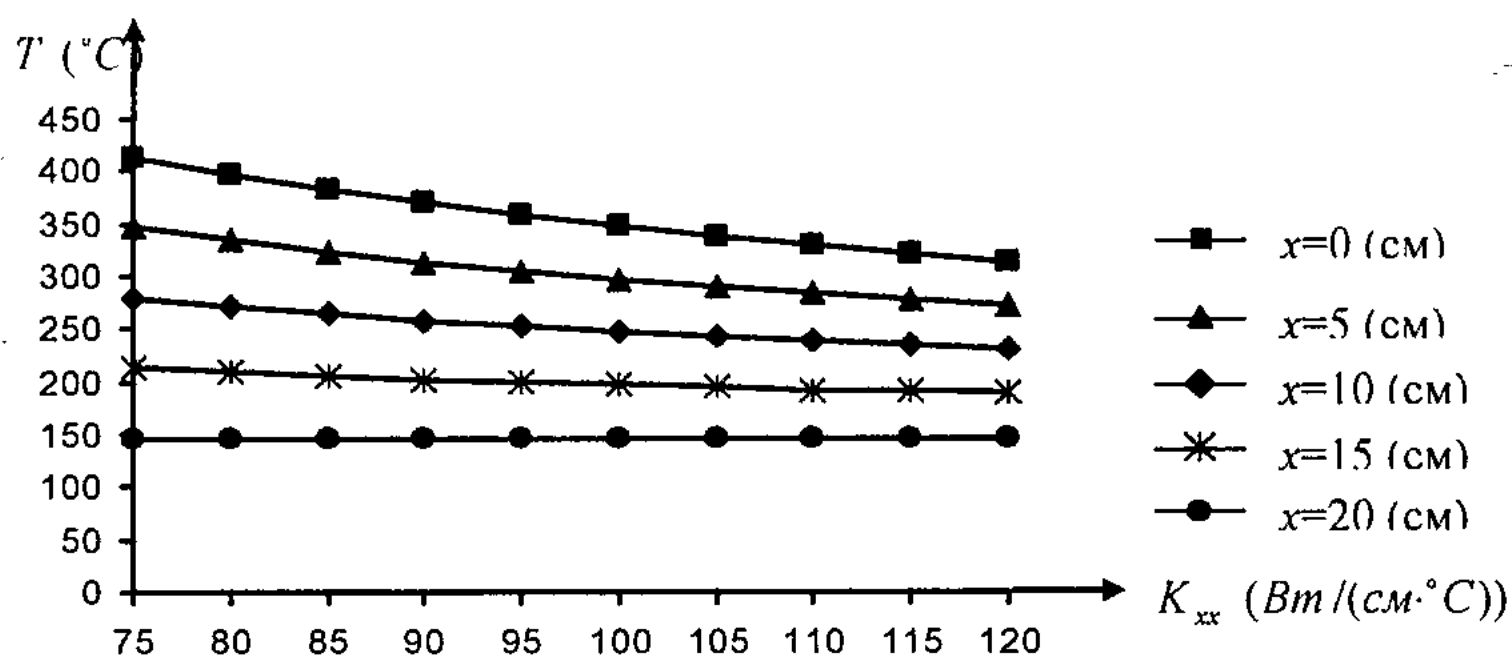


Рисунок 3 – Зависимость значения температуры в фиксированных сечениях $x = 5 \times i, i \in (0 \div 4), 0 \leq y \leq L_2$ от температуры окружающей среды

Также исследовано поле распределения температуры в объеме исследуемого тела в зависимости от значения $q \in [-1000; -900; -800; \dots; -100]$. При этом выявлено, что с уменьшением значения теплового потока во всех точках тела значение температуры понижается. Эта зависимость имеет линейный характер.

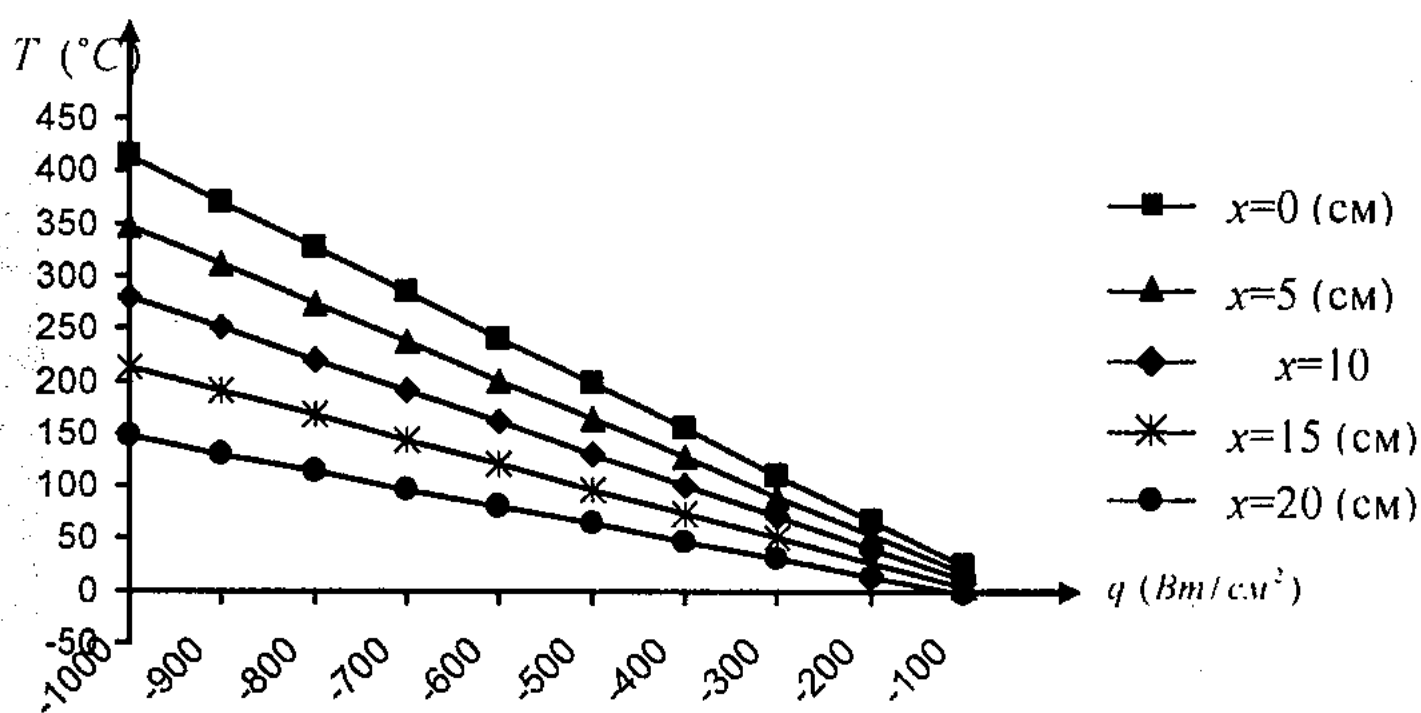


Рисунок 4 – Зависимость значения температуры в фиксированных сечениях $x = 5 \times i, i \in (0 \div 4), 0 \leq y \leq L_2$ от температуры окружающей среды

Второй раздел завершается численным исследованием установившегося поля распределения температуры в объеме частично теплоизолированного трехмерного тела при наличии на верхней полосе ($y = l_2; l_1 \leq y \leq l_2; -\infty \leq z \leq +\infty$) постоянной температуры T_1 и процесс теплообмена через площади нижней полосы ($y = 0; l_1 \leq y \leq l_2; -\infty \leq z \leq +\infty$). При этом температура окружающей среды отрицательная, т.е. $T_{oc} < 0$. Вся остальная поверхность рассматриваемого тела теплоизолированы. В этой задаче значение температуры окружающей среды варьировалось в пределах $T_{oc} \in [-20; -40; -60; -80; -100]^\circ\text{C}$. Из проведенных численных экспериментов было выявлено, что с уменьшением значения температуры окружающей среды, уменьшаются узловые значения температуры. В частности, значение температуры в нижней точке $T(x, y) = T(10\text{см}; 0)$ в зависимости от значения T_{oc} уменьшается пропорционально (рисунок 7)

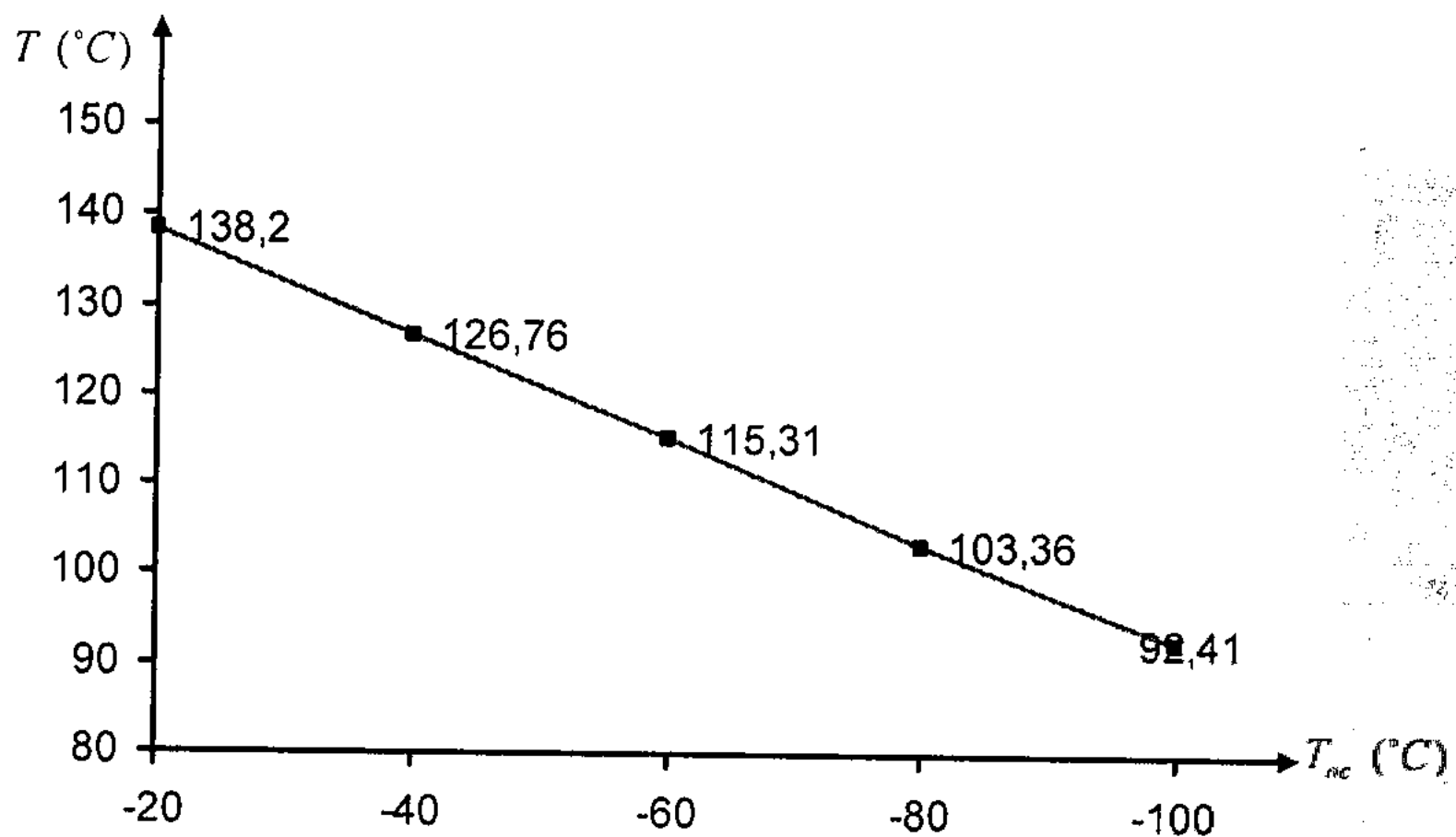


Рисунок 7 – Зависимости значение температуры $T(10\text{см}, 0)$ от значения температуры окружающей среды.

Третий раздел начинается численным решением задачи установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного тела четырехугольного сечения. При этом на верхней локальной полосе ($y = L_2; l_1 \leq y \leq l_2; -\infty \leq z \leq +\infty$) задана постоянная температура $T_1 = \text{const.}$ через площади поверхности полосы нижней стороны тела происходит теплообмен с окружающей этой поверхности среды. При решении задачи приняты следующие исходные данные: $L_1 = L_2 = 20\text{см}; T_1 = 350^\circ\text{C};$

$$h = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{C}}; T_{oc} = 40^\circ\text{C}; K_{xx} = K_{yy} = K_{zz} = 100 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{C}}; l_1 = 5\text{см}; l_2 = 3l_1 = 15\text{см};$$

Число дискретных элементов $m \times n = 80 \times 80 = 6400$; Число узлов $(m + 1) \times (n + 1) = 81 \times 81 = 6561$; Число уравнений и неизвестных 6550.

В этой задаче рассмотрим два варианта: 1 – площадь локальной полосы ($x = 0; \ell_1 \leq y \leq \ell_2; -\infty \leq z \leq +\infty$) также теплоизолирован; 2 – на площадь этой полосы подведен тепловой поток постоянной интенсивности $q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;

Результаты обеих вариантов приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные данные для трехмерного тела с теплоизолированной площадью локальной полосы и воздействием теплового потока

x см \ y см	0	5 см	10 см	15 см	20 см	Локальный площадь поверхности
	$T(x, y), ^\circ C$	$T(x, y), ^\circ C$	$T(x, y), ^\circ C$	$T(x, y), ^\circ C$	$T(x, y), ^\circ C$	
0	248,87	216,02	185,07	207,4	234,5	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
0	222,17	195,93	172,43	195,93	22,17	Теплоизолирован
Разница в %	10,72	9,3	6,83	5,53	5,25	
0,5 см	249,11	220,25	192,16	211,42	234,67	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
0,5 см	222,34	199,68	178,91	199,18	222,34	
Разница в %	10,74	9,34	6,9	5,55	5,25	
3 см	257,18	240,26	222,82	230,15	240,35	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
3 см	228	217,42	207,22	217,42	228	Теплоизолирован
Разница в %	11,34	9,5	7	5,53	5,13	
5 см	272,76	253,99	242,08	245,11	249,13	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
5 см	236,85	231,33	225,91	231,33	236,85	Теплоизолирован
Разница в %	13,16	8,92	6,68	5,62	4,93	
7,5	293,78	274,37	263,41	261,55	262,69	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
7,5	250,8	248,65	246,49	248,65	250,82	Теплоизолирован
Разница в %	14,6	9,37	6,42	4,9	4,5	
10	309,59	291,11	281,7	277,97	277,18	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
10	266,19	265,96	265,69	265,96	266,19	Теплоизолирован
Разница в %	14,01	8,64	5,68	4,32	3,96	
15	325,94	318,64	314,93	308,89	304,15	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
15	296,08	300,79	304,52	300,79	296,08	Теплоизолирован
Разница в %	9,16	5,6	3,3	2,6	2,65	
20	329,07	350	350	350	317,8	$q = -500 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$;
20	311,81	350	350	350	311,81	Теплоизолирован
Разница в %	5,24	0	0	0	5,24	

Эти сравнения показывают, что при наличии теплового потока $q = -500 \frac{Вт}{см^2}$, наибольшее увеличение значение температуры составляет 14,6% и она наблюдается в точке с координатами $(x = 0; y = 7,5 см)$.

В этом разделе также численно исследовано влияние значения теплового потока q на поле распределения температуры в объеме исследуемого тела. При этом варьировалось значением $q \in [-500; -1000; -1500; -2000] \frac{Вт}{см^2}$. При этом выявлено, что при увеличении значение теплового потока q в 4 раза (от -500 до -2000) $\frac{Вт}{см^2}$ наибольшее увеличение значения температуры составляет до 143,8%. Этот процесс наблюдается также на координатах $(x = 8 см; y = 0)$.

Наконец, третий раздел завершается численным исследованием установившегося поля распределения температуры в объеме исследуемого тела в зависимости от значения коэффициента теплообмена. При этом принято следующие исходные данные.

$L_1 = L_2 = 20 см$; $K_{xx} = K_{yy} = K_{zz} = K = 100 \frac{Вт}{см^2 \cdot C}$; $T_3 = 350^\circ C$; $q = -500 \frac{Вт}{см^2}$; Число дискретных элементов $m \times n = 40 \times 40 = 1600$; Число узлов $(m + 1) \times (n + 1) = 41 \times 41 = 1681$; Число неизвестных и уравнений 1670;

Варьировалось значением коэффициентом теплообмена $h \in [5; 10; 15; 20] \frac{Вт}{см^2 \cdot C}$. Из проведенных численных исследований обнаружено, что с увеличением значение коэффициента теплообмена уменьшается узловое значение температуры в объеме исследуемого тела. Например, изменение значения температуры в точках на фиксированной линии ($y = 0; x = 10 см; -\infty \leq z \leq +\infty$) в зависимости от значения коэффициента теплообмена будет иметь характер, приведенный в таблице 2.

Таблица 2- Изменение значений температуры

x \ y	0	2,5 см	5 см	7,5 см	10 см	12,5 см	15 см	17,5 см	20 см
0	294,72	287,72	259,74	232,35	223,03	223,24	241,23	261,27	265,33
2,5 см	301,56	295,03	279,05	262,98	253,96	252,71	258,75	266,20	268,91
5 см	325,51	312,14	297,96	285,52	277,31	274,01	274,7	276,82	277,81
7,5 см	351,45	330,47	315,07	303,46	295,49	291	289,2	288,92	288,97
10 см	365,38	343,97	328,66	317,71	310,09	305,14	305,25	300,82	300,4
12,5 см	371,5	351,36	338,06	328,7	322	317,22	313,86	311,773	311,04
15 см	363,77	352,54	343,75	337,09	332,03	327,93	324,26	321,34	320,2
17,5 см	353,5	351,22	347,27	343,88	341,11	338,36	334,14	328,95	326,92
20 см	351,97	350,86	350	350	350	350	350	332,48	329,53

В четвертом разделе описывается реализация разработанного программного комплекса на объектно-ориентированном языке программирования DELPHI, который состоит из 4 окон, окна-меню запуска

программы, окна ввода и основного расчетного окна, при этом основное расчетное окно включает пять разделов:

- введение исходных данных;
- введение разнородных граничных условий;
- формирования разрешающих систем уравнений;
- вывод полученных решений в виде таблицу;
- вывод полученных решений в виде графиков;

Кроме того, для определения закона распределения температуры в программном комплексе строятся следующие процедуры:

- формирование функционала которая характеризует полную тепловую энергию рассматриваемого трехмерного тела с учетом наличия частичной теплоизоляции, локальной температуры, теплообмена и теплового потока;
- интегрирования функционала полной тепловой энергии тела;
- минимизация функционала полной тепловой энергии тела по узловым значениям температуры;
- решение полученных разрешающих систем линейных уравнений численным методом Гаусса;
- определение узловых значений температур.

В итоге полученные численные и графические результаты выводятся на печать или сохраняются в файловой системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации, практические выводы состоят в следующем:

1. Для трехмерного тела четырехугольного профиля и неограниченной длины с учетом наличия частичной теплоизоляции ее поверхности, поверхностной локальной температуры, теплового потока и теплообмена построен функционал, которая характеризует ее полную тепловую энергию рассматриваемого тела.

2. Разработана математическая модель установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного частично теплоизолированного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины находящейся под воздействием локальной поверхностной температуры, теплового потока и теплообмена.

3. Построены соответствующие вычислительные алгоритмы, методы и комплексы прикладных программ на объектно-ориентированном языке DELPHI, позволяющие численно решать задачи определения установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного тела четырехугольного сечения и неограниченной длины с учетом одновременного наличия разнородных граничных условий.

4. На энергетическом уровне сформулирована и исследована задача об установившемся поле распределения температур в объеме трехмерного тела и четырехугольного сечения, верхние и нижние грани которого

теплоизолированы, на площади левой боковой поверхности подведен тепловой поток постоянной интенсивности, а через площади правой боковой поверхности происходит теплообмен с окружающей средой. Температура окружающей среды отрицательная. В этой задаче выявлено, что: 1) с уменьшением значения температуры окружающей среды значение температуры в точках исследуемого тела уменьшается пропорционально линейным образом; 2) с увеличением значения коэффициента теплопроводности материала тела значение температуры в точках каждого ребра тела через площади которого происходит теплообмен на меняются, а других точках уменьшаются слабо нелинейным образом; 3) с уменьшением значения теплового потока, пропорционально линейным образом уменьшаются значения температуры в точках тела; 4) с увеличением ширины тела пропорционально линейным образом увеличивается значения температуры в точках тела.

5. Сформулировано и численно решена задача об установившемся поле распределения температуры в объеме тела четырехугольного сечения, на верхней локальной полосе которого происходит теплообмен с окружающей ее средой, а вся остальная ее поверхность теплоизолирована. Температура окружающей среды отрицательная. В этой задаче выявлено, что с уменьшением значения температуры окружающей среды значения температуры в точках на линии уменьшается пропорционально линейным образом.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Кенжегулов Б.З., Утебаев У.Б., Токкулиев Б.М. Численное моделирование термоупруго-напряженно-деформированное состояние жестко заземленного двумя концами стержня при наличии локальной теплоизоляции, теплообмен и теплового потока.// Вторая Международная научно-практическая конференция «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». КБТУ. –Алматы. -2009. -С. 55-60.

2 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Кенжегулов Б.З., Утебаев У.Б., Токкулиев Б.М. Численно-энергетический метод определения удлинения стержня ограниченной длины при наличии теплоизоляции, теплового потока, теплообмена и осевой растягивающей силы.// Вторая Международная научно-практическая конференция «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии», КБТУ. –Алматы. -2009. -С. 61-65.

3 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Амиртаев К.Б., Усманов К., Утебаев У.Б. Численные исследования поле распределения температуры в частично теплоизолированном стержне при наличии теплового потока.// Материалы Международной научно-практической конференций, - Кокшетау, 2006. -С. 27-32.

4 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Амиртаев К.Б., Усманов К. Установившиеся термоупругое состояние теплоизолированных и частично теплоизолированных стержней.// Материалы «Международной научно –

практической конференций современные проблемы математики, механики и информационных технологий», - Талдыкорган.- 2006.-С.

5 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Амиртаев К.Б., Утебаев У.Б., Токкулиев Б.М. Бүйір беті жартылай изоляцияланған брустың жылу көздері әсеріндегі күйін энергетикалық-шекті элементтер әдісімен зерттеу.//Научно – теоретический и практический журнал «Оралдың ғылым жаршысы», Орал, - 2008. № 7(15). –С. 52-57.

6 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Амиртаев К.Б., Утебаев У.Б., Токкулиев Б.М. Определение закона распределения температуры в частично теплоизолированной трубе ограниченной длины, при подведении теплового потока на ограниченную замкнутую внутреннюю поверхность середины трубы. // Материали за IV международна научна практична конференция «Бъдещето проблемите на световната наука -2008», -София, 2008. –С. 66-69.

7 Жумадилаева А.К., Амиртаевым К.Б. Компьютерное моделирование распределение температуры в частично теплоизолированном по боковому поверхностью и поверхностью поперечного сечения стержня.// Поиск. – Алматы. -2006. №1. -С. 238-239.

8 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Кенжегулов Б.З., Утебаев У.Б., Токкулиев Б.М. Установившиеся термонапряженное состояние несущих стержневых элементов конструкции при одновременном наличии локальной температуры, теплоизоляции и теплообмена.// Международная научно-практическая конференция "Механика и строительство транспортных сооружений", посвященная 75-летию Заслуженного деятеля науки и техники Казахстана, академика НАН РК, д.т.н., профессора Айталиева Ш.М. 28-29 января 2010 года, Алматы, Казахстан

9 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Кенжегулов Б.З., Утебаев У.Б., Токкулиев Б.М. Численное решение установившиеся задачи распределение поле температур в сечении балки неограниченной длины при наличии частичной теплоизоляции, теплообмена и теплового потока.// Международная научно-практическая конференция "Механика и строительство транспортных сооружений", посвященная 75-летию Заслуженного деятеля науки и техники Казахстана, академика НАН РК, д.т.н., профессора Айталиева Ш.М. 28-29 января 2010 года, Алматы, –С. 259-263.

10 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Серикбаев А.У. Численное моделирование установившихся двумерных процессов теплопереноса в двумерных телах при одновременном наличии наружной теплоизоляции, теплообмена и внутреннего теплового потока.// Поиск. –Алматы. -2010. №2 (1). -С. 236-241.

11 Жумадилаева А.К., Серикбаев А.У., Кудайкулов А.К. Математическое моделирование двумерного установившегося процесса переноса тепла в трехмерных телах.// Поиск. –Алматы. -2010. №2. -С. 254-259.

12 Жумадилаева А.К. Численное решение задачи построения установившегося поля распределения температуры в объеме трехмерного бруса при одновременном наличии частичной теплоизоляции, теплового потока и теплообмена.// Поиск. –Алматы. -2009. №4. -С. 162-166.

13 Жумадилаева А.К. Численное исследование влияния увеличения теплоизолированной поверхности на поле распределения температуры в объеме бруса при одновременном наличии частичной теплоизоляции, теплового потока и теплообмена.// Поиск. – Алматы. -2009. №4. -С. 162-166.

14 Жумадилаева А.К., Кудайкулов А.К., Серикбаев А.У. Энергетический метод решения установившиеся задач теплопроводности для трехмерного бруса при наличии локальной температуры, теплового потока, теплообмена и теплоизоляции.// Международная научно-практическая конференция «Казахстанский «Путь в Европу»: экономика, образование и наука», ЖГУ им. И.Жансугурова. -Талдыкорган. – 2010.-С.56-15

15 Жумадилаева А.К., Кудайкуловым А.К. Численное моделирование установившихся полей распределения температуры в объеме трехмерного бруса при одновременном наличии локальной температуры, теплоизоляции и теплообмена.// V Международная научно-методическая конференция «Математическое моделирование и информационный технологии в образовании и науке», посвященной 25-летию информатики школе. КазНПУ им. Абая, -Алматы. -2010. -С.193-197.

ЖҰМАДІЛЛАЕВА АЙНҰР ҚАНӘДІЛҚЫЗЫ

Үш өлшемді денелерде бір уақытта жергілікті температура, жылу ағыны, жылу изоляциясы және жылу алмасу әсерінен туындайтын тұрақталған температураның таралу өрістерін сандық пішіндеу

05.13.18 - Математикалық моделдеу, сандық әдістер және бағдарламалар кешені мамандығы бойынша техника ғылымдарының кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған диссертацияға

ТҮЙІН

Зерттеу нысаны жартылай жылу өткізбейтін қабатпен қапталған үш өлшемді денеде жергілікті температура, жылу ағыны және жылу алмасу әсерінен туындайтын тұрақталған жылу таралуының математикалық моделдерін жасау. Энергияның сақталу заңы мен шекті элементтер әдісін қолдана отырып; жартылай жылу өткізбейтін қабатпен қапталған үш өлшемді денеде берілген сыртқы жергілікті температура, жылу ағыны және жылу алмасудан туындайтын жылу өрістерінің математикалық модельдері жасалады. Сондай-ақ сәйкес есептеу алгоритмдері, әдістері және DELPHI объектілі бағдарланған бағдарламалау тілінде көптеген сәйкес мәселелерді сандық шеше алатын бағдарлама кешендері құрылды. Кейбір мәселенің сандық шешімі, ал көптеген мәселелер сандық шешілді. Жасалған сандық алгоритмен әдістердің туралылығы сандық әдістермен толықтай зерттелді. Әрбір шешілген мәселелерде сәйкес заңдылықтар табылды.

Диссертацияда алынған теориялық әдістерді үш өлшемді денелерде берілген сыртқы жергілікті температуралар, жылу ағындары, жылу изоляциялары, конвективті жылу алмасулар және ішкі нүктелі жылу көздерінің әсерлерінен туындайтын тұрақталған жылу өрістерінің математикалық модельдерін құруда және көптеген сәйкес мәселелерді сандық шеше алатын сандық алгоритмдер мен әдістер жасауда, сондай-ақ бағдарлама кешендерін жасауда тікелей қолдануға болады. Ал құрылған модельдер, сандық алгоритмдер, әдістер және бағдарламалау тілінде құрылған бағдарламалық кешендерін арнайы инженерлік мекемелерде және жоғары оқу орындарының оқу процесінде қолдануға болады.

Диссертацияда орындалған зерттеудің маңызы үш өлшемді жылу физикасы процестерін математикалық модельдеу және оған сәйкес есептерді сандық әдістермен есептеу алгоритмдері, әдістері және бағдарлама кешендерін құру мүмкіндігін және аясын кеңейтуде деп тұжырымдауға болады. Алынған нәтижелерді арнайы инженерлік зерттеу жұмыстарында да пайдалануға болады.

JUMADILLAYEVA AYNUR KANADILOVNA

Numerical modelling of the established field of distribution of temperature in three-dimensional bodies at simultaneous presence of local temperature, a thermal stream, is warm isolation and heat exchange

SUMMARY

Dissertation for the scientific degree of candidate of technical science, specialty 05.13.18 – mathematical modeling, numerical methods and complex of programs

In dissertational work development of mathematical model of the established field of distribution of temperature in volume in part warmly isolated three-dimensional body of unlimited length of local temperature taking place under influence, a thermal stream and heat exchange are submitted. Besides in the dissertation the methods are developed, allowing to investigate the established field of distribution of temperatures in volume in part warmly isolated three-dimensional body, in view of simultaneous influence of local temperature, a thermal stream and heat exchange. For the developed method with the help of final elements the researched problem is solved and the corresponding computing algorithm is constructed. With the help of the developed complex of applied programs in object-oriented language Delphi, numerical realization of this algorithm is carried out.

In the dissertation the mathematical model of distribution of a field of temperatures in volume in part warmly is developed.

Isolated three-dimensional body of quadrangular section of local constant temperature taking place under action, a thermal stream and negative temperature of a surrounding local surface of environment. The computing algorithm of a researched problem is constructed and the complex of the applied programs is developed, allowing to lead experimental researches.

Подписано в печать 20.11.2010г. Формат 60x84 ^{1/16}.
Печать цифровая. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 00393.



г. Алматы, ул. Шевченко 65/20, (угол ул. Желтоксан)
тел.+7 (727) 272-87-17, сот. +7 (777) 214-02-50
almaprintmaster@gmail.com