**Восстановление уравнения теплопроводности по экспериментальным данным**

**1. Немного теории**

Полное уравнение теплопроводности в движущейся среде

 (1)



Здесь с – удельная теплоемкость, ρ – плотность среды, λ – коэффициент теплопроводности, v – скорость среды, T – температура, Q определяет мощность внутренних источников теплоты

В цилиндрических координатах

 (2)

Для одномерного случая

 (3)

Комментарий: для одномерного случая уравнение включает конвективное слагаемое (второе в левой части). Обычно, если есть конвекция нужно решать и уравнения гидродинамики. В этом случае одномерная постановка возможна только, если через границу задан расход жидкости. Если конвекция от нагретой поверхности – она всегда пространственная (как минимум двумерная). У нас расхода нет.

Для одномерного случая в отсутствии конвекции

 (4)

**2. Постановка эксперимента**

Нагреваем резистивно константановую проволоку диаметром d = 0.1мм, которая находится внутри аквариума с глицерином

Параметры константановой проволоки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Теплопроводность λ | 22.7 | Вт/(м К) |
| Плотность ρ | 8820 | Кг/(м^3) |
| Удельная теплоемкость с | 410 | Дж/(кг K) |

Удельное сопротивление ρ=0.45\*10-6 Ом\*м

Длина проволоки L=0.046 м

Радиус проволоки r=0.05\*10-3 м

Площадь поперечного сечения проволоки S=0.785\*10-8 м2

Объем проволоки V=0.3611\*10-9 м^3

Площадь поверхности проволоки Ss = L\*2\*pi\*r=0.046\*2\*3.14\*0.05\*10-3=1.44513\*10-5 м^2

Сопротивление проволоки R=(ρL)/S= 2.63 Ом

Джоулев нагрев проволоки Q=UI/V, U – падение напряжения НА ПРОВОЛОКЕ, I - ток

Базовый вариант для 0.6В – БЕЗ КОНВЕКЦИИ:

**Для UI=0,1392375 Вт**

Q= UI/V =0.3856\*109 Вт/м^3

Поверхностный поток QS=UI/Ss=9.635\*103 Вт/м^2

Базовый вариант для 1.3В – С КОНВЕКЦИЕЙ

**Для UI=0,662 Вт**

Q= UI/V =1.715\*109 Вт/м^3

Параметры глицерина

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Теплопроводность λ | 0.283 | Вт/(м К) |
| Плотность ρ | 1260 | Кг/(м^3) |
| Удельная теплоемкость с | 2430 | Дж/(кг K) |

Время нагрева (импульса тока, пропускаемого через проволоку) 30s

**3а. Результаты измерений (без конвекции)**

Результаты измерений для напряжения 0.6В (**вариант без конвекции**)– содержатся в файлах

06V\_07mm\_u.dat – для удаления точки измерения от оси проволоки 0.7мм+/-0.15мм

Начальная температура TSTART=24.86K

06V\_12mm\_u.dat – для удаления точки измерения от оси проволоки 1.2мм+/-0.15мм

Начальная температура TSTART=25.0307K

06V\_17mm\_u.dat – для удаления точки измерения от оси проволоки 1.7мм+/-0.15мм

Начальная температура TSTART= 25.15106K

06V\_22mm\_u.dat – для удаления точки измерения от оси проволоки 2.2мм+/-0.15мм

Начальная температура TSTART= 26.0285К

06V\_27mm\_u.dat – для удаления точки измерения от оси проволоки 2.7мм+/-0.15мм

Начальная температура TSTART= 26.05125К

Структура файлов:

1й столбец – время t без учета задержки в секундах (для справки)

2й столбец - время t с учетом задержки в секундах (ДЛЯ ПРОЦЕДУРЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, БЕРЕМ ТОЛЬКО ЗНАЧЕНИЯ )

3й столбец – реальная измеренная температура T в точке (на графиках ниже приведен ПЕРЕГРЕВ, т.е. T- TSTART). Нужна для процедуры восстановления. Берем данные для (см. второй столбец). Вообще то, так как начальная температура в опытах была разная НАМ НУЖЕН ИМЕННО ПЕРЕГРЕВ. Т.е. нужно сгенерировать столбец T- TSTART

4й столбец – осредненная по измерениям температура Tav в точке – скользящее среднее с окном n=50 (на графиках ниже приведен ПЕРЕГРЕВ, т.е. Tav - TSTART). Нужна для процедуры восстановления. Берем данные для (см. второй столбец). Вообще то, так как начальная температура в опытах была разная НАМ НУЖЕН ИМЕННО ПЕРЕГРЕВ. Т.е. нужно сгенерировать столбец Tav - TSTART.

**4а. Визуализация данных (без конвекции)**

Визуализация приведенных в файлах результатов измерений для напряжения 0.6В (**варианты без конвекции**) и попытка сопоставить их с 1D моделью без конвекции (4)



Рис.1. **0.6В. файл** 06V\_07mm\_u.dat. Изменение перегрева со временем на расстоянии от центра проволоки до центра датчика 0.7 мм



Рис.2. **0.6В.** **файл** 06V\_12mm\_u.dat. Изменение перегрева со временем на расстоянии

от центра проволоки до центра датчика 12 мм



Рис.3. **0.6В.** **файл** 06V\_17mm\_u.dat. Изменение перегрева со временем на расстоянии

от центра проволоки до центра датчика 17 мм



Рис.4. **0.6В.** **файл** 06V\_22mm\_u.dat. Изменение перегрева со временем на расстоянии

от центра проволоки до центра датчика 22 мм



Рис.5. **файл** 06V\_27mm\_u.dat. Изменение перегрева со временем на расстоянии

от центра проволоки до центра датчика 27 мм

**5. Упрощения для процедуры восстановления**

Для процедуры восстановления предлагается использовать шаблон уравнения в виде аналогичном (3):

 (5)

При этом предлагается проволоку не рассматривать. Т.е. область рассматриваем от R>d/2=0.05мм. На данной границе R=d/2=0.05мм – поверхности проволоки считаем поток ИЗВЕСТНЫМ и равным QS (см. п.2).

 (6)

для времени 0<t<30c QS= 9.635\*103 Вт/м^2

для времени t>30c QS= 0

В уравнениях (5) и (6) все параметры соответствуют глицерину. Т.о. знаем внутреннюю границу R=0.05мм, знаем поток на ней QS.

Процедура восстановления должна восстановить вид (5) для варианта без конвекции с минимальным весом второго слагаемого в левой части и восстановить теплофизические параметры – множители при производных с, ρ, λ.