

# Shield's Thermal Insulation

**Программный пакет для расчета экранной теплоизоляции ВПС с учетом экономического критерия.**

***Асп. Митяков Ф.Е.  
Студ. Журжи Д.П.  
Руководитель: д.т.н.  
Рубцов В.П.***



# Главная форма программы, возможности.

- Расчет экранной теплоизоляции
- Расчет комбинированной теплоизоляции (сложный теплообмен)
- Экономический расчет



## Экранная теплоизоляция. Выбор параметров печи.

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>  
0,09

Температура, °C  
1800,0

Мои

Площадь поверхности экранов

Рабочая температура печи

Число экранов

Число экранов

- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

Выбор числа экранов (от трех до пятнадцати)

По умолчанию предлагается вводить исходные данные для печи прямоугольной формы

Форма печи

- Прямоугольная
- Цилиндрическая

На главную

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>  
0,09

Температура, °C  
1800,0

7

Вольфрам

Вольфрам

Молибден

Молибден

Молибден

Молибден

Молибден

Экран 7

- Экран 7
- Вольфрам
- Молибден
- Ниобий
- Тантал
- 12X18N10T
- Нихром

В базу заложены параметры для экранов из вольфрама, молибдена, ниобия, нихрома, тантала и нержавеющей стали

Выбор материала экрана

По окончании ввода нажимаем эту кнопку.

Расчет

На главную

Форма печи

- Прямоугольная
- Цилиндрическая

Вывод данных о мощности тепловых потерь и распределения температур на экранах печи (слева),  
выбор параметров для расчета эквивалентной толщины неметаллической засыпки (справа)..

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>  
0,09

Температура, °C  
1800,0

7

Вольфрам  
Молибден  
Ниобий  
Вольфрам  
Вольфрам  
Молибден  
12X18H10T

T1=1800 °C  
T2=1723 °C  
T3=1618 °C  
T4=1503 °C  
T5=1364 °C  
T6=1071 °C  
T7=578 °C  
P=1743 Вт

Распределение температур на экранах

Мощность тепловых потерь

Эквивалентная толщина засыпки  
 Экономический расчет

Форма печи  
 Прямоугольная  
 Цилиндрическая

Расчет  
На главную

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>  
0,09

Температура, °C  
1800,0

7

Вольфрам  
Вольфрам  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
12X18H10T

Материал  
Материал  
Al2O3  
ZrO2  
MgO  
Y2O3  
Al2O3+SiO2

Выбор материала засыпки

Расчет эквивалентной толщины засыпки использует вычисленную ранее мощность тепловых потерь

T1=1800 °C  
T2=1743 °C  
T3=1662 °C  
T4=1543 °C  
T5=1376 °C  
T6=1062 °C  
T7=558 °C  
P=1588 Вт

Эквивалентная толщина засыпки  
 Экономический расчет

Форма печи  
 Прямоугольная  
 Цилиндрическая

Расчет  
На главную



## Расчет эквивалентной толщины неметаллической засыпки

Засыпка может быть выполнена из следующих материалов:

- Оксид магния
- Оксид алюминия (корунд)
- Оксид циркония
- Оксид иттрия
- Оксид алюминия с 28% примесей оксида кремния

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>: 0,09  
Температура, °C: 1800,0  
7

Вольфрам  
Вольфрам  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
12X18Н10Т

Al2O3

МОИ

При выборе материала засыпки сразу получаем ответ

T1=1800 °C  
T2=1743 °C  
T3=1662 °C  
T4=1543 °C  
T5=1376 °C  
T6=1062 °C  
T7=558 °C  
P=1588 Вт

Результат расчета эквивалентной толщины неметаллической засыпки

Вместо трех экранов: 0,182 м  
Вместо двух экранов: 0,11 м  
Вместо одного экрана: 0,059 м

Эквивалентная толщина засыпки  
 Экономический расчет

Форма печи  
 Прямоугольная  
 Цилиндрическая

Расчет  
На главную

## Экономический расчет. Выбор параметров.

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>  
0,09

Температура, °C  
1800,0

7

T1=1800 °C  
T2=1743 °C  
T3=1662 °C  
T4=1543 °C  
T5=1376 °C  
T6=1062 °C  
T7=558 °C  
P=1588 Вт

Вольфрам  
Вольфрам  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
12X18H10T

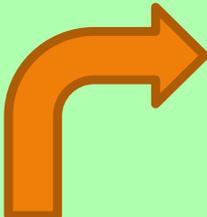
Стоимость W, руб/кг  
1000,0

Ввод

Эквивалентная толщина засыпки  
 Экономический расчет  
Форма печи  
 Прямоугольная  
 Цилиндрическая

Расчет

На главную



Ввод цен на материалы и электроэнергию

Экранная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>  
0,09

Температура, °C  
1800,0

7

T1=1800 °C  
T2=1743 °C  
T3=1662 °C  
T4=1543 °C  
T5=1376 °C  
T6=1062 °C  
T7=558 °C  
P=1588 Вт

Вольфрам  
Вольфрам  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
Молибден  
12X18H10T

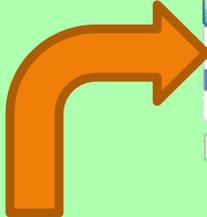
Давление  
Давление  
3·10<sup>-2</sup>  
10<sup>-3</sup>  
3,5

Ввод

Эквивалентная толщина засыпки  
 Экономический расчет  
Форма печи  
 Прямоугольная  
 Цилиндрическая

Расчет

На главную



После выбора давления рабочей зоны программа выдаст результаты

## Экономический расчет

Результатом экономического расчета являются:

- Расчет затрат на электроэнергию, израсходованную в ходе эксплуатации одного комплекта экранной теплоизоляции.
- Затраты на приобретение материалов для изготовления экранов.
- Суммарные затраты.
- Срок службы одного комплекта экранной теплоизоляции.

The screenshot shows the 'Экранная теплоизоляция' (Screen Thermal Insulation) software interface. The window title is 'Экранная теплоизоляция'. The interface is divided into several sections:

- Input Fields:**
  - Площадь, м<sup>2</sup>: 0,09
  - Температура, °C: 1800,0
  - 7 (dropdown)
- Material Selection (dropdowns):**
  - Вольфрам
  - Вольфрам
  - Молибден
  - Молибден
  - Молибден
  - Молибден
  - Молибден
  - 12X 18Н10Т
- Temperature List:**
  - T1=1800 °C
  - T2=1743 °C
  - T3=1662 °C
  - T4=1543 °C
  - T5=1376 °C
  - T6=1062 °C
  - T7=558 °C
  - P=1588 Вт
- Costs Summary:**
  - Затраты на электроэнергию: 17305 руб
  - Суммарные затраты: 30247 руб
  - Затраты на материалы: 12942,828 руб
  - Срок службы: 3219 ч
- Output Fields:**
  - 10<sup>-3</sup> (dropdown)
  - Стоимость ЭЭ, руб/кВтч: 3,385
  - Ввод (button)
- Buttons:** Расчет, На главную
- Options:**
  - Эквивалентная толщина засыпки
  - Экономический расчет
  - Форма печи:
    - Прямоугольная
    - Цилиндрическая

A large orange arrow points from the 'Суммарные затраты' field to a blue box labeled 'Результаты экономического расчета'.

## Комбинированная теплоизоляция

Решение задачи сложного теплообмена:

Тепловой поток:

$$P_1 = \frac{T_1 - T_k}{R_{\text{зас}} + R_o \times \left[ \frac{T_x - T_k}{\left[ \frac{T_x + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_k + 273}{100} \right]^4} \right]}$$

- $T_1$  - рабочая температура печи
- $T_k$  - температура кожуха печи
- $T_x$  - температура между засыпкой и экранами
- $R_{\text{зас}}$  - тепловое сопротивление засыпки
- $R_o$  - тепловое сопротивление экранов

Тепловой поток по засыпке:

$$P_2 = \frac{(T_1 - T_x)}{S_{\text{зас}}} \times L \times F_1$$

- $S_{\text{зас}}$  - толщина засыпки
- $L$  - теплопроводность засыпки
- $F_1$  - площадь экранов

Подбираем такой  $T_x$ , чтобы  $P_2 = P_1$

Комбинированная теплоизоляция

Площадь, м<sup>2</sup>: 0,09

Температура, °C: 1800

Толщина засыпки, м: 0,40

5

Вольфрам

Молибден

Молибден

Молибден

Молибден

12X18H10T

ZrO2

T1=1136 °C  
T2=1052 °C  
T3=915 °C  
T4=669 °C  
T5=292 °C  
P=339 Вт

Расчет

На главную

## Методика расчета

- Применялся итерационный метод для решение нелинейных теплотехнических задач (от температуры зависят степени черноты экранов и теплопроводность засыпки)
- Использование циклов с известным числом повторений для решения задач сложного теплообмена

## Допущения

- Температура первого экрана принимается равной температуре садки, что общепринято;
- Нагреватели и садка считаются бесконечно тонкими, поэтому их толщина не учитывается, также как и толщина стенки кожуха;
- Рассматривается только передача тепла излучением, так как конвективная составляющая теплопередачи ВПС отсутствует;
- Расстояние между экранами в тепловом расчете не учитывается, так как оно не оказывает влияния на теплопередачу излучением;
- Температура на кожухе принимается постоянной и равной 40 °С, что соответствует принятым нормам;

## Система блокировок

- Исключение некорректного ввода исходных данных
- Наличие сервисных сообщений, оповещающих пользователя о текущем состоянии системы и подсказывающих ход дальнейших действий.

**Спасибо за внимание!**

## Расчет экранной теплоизоляции

C12, C23 – приведенные коэффициенты степени черноты для первого со вторым и второго с третьим экранами

C3k – приведенный коэффициент степени черноты для третьего экрана и кожуха

R12, R23 – тепловые сопротивления для первого со вторым и второго с третьим экранами

R3k – тепловое сопротивление для третьего экрана и кожуха

R0 – общее тепловое сопротивление

P – мощность тепловых потерь

R2 – тепловое сопротивление от кожуха до второго экрана

R3 – тепловое сопротивление от кожуха до третьего экрана

t2, t3 – температуры на втором и третьем экранах

$$C12 := \frac{5.67}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{F1}{F2} \cdot \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} = 0.44 \quad R12 := \frac{1}{C12 \cdot F1} = 27.029$$

$$C23 := \frac{5.67}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{F2}{F3} \cdot \left( \frac{1}{\epsilon_3} - 1 \right)} = 0.377 \quad R23 := \frac{1}{C23 \cdot F1} = 31.51$$

$$C3k := \frac{5.67}{\frac{1}{\epsilon_3} + \frac{F3}{Fk} \cdot \left( \frac{1}{\epsilon_k} - 1 \right)} = 0.718 \quad R3k := \frac{1}{C3k \cdot F1} = 16.551$$

$$R_0 := R12 + R23 + R3k = 75.091$$

$$P := \frac{\left( \frac{t1 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{tk + 273}{100} \right)^4}{R_0} = 1.638 \times 10^3$$

$$R2 := R_0 - R12 = 48.061$$

$$R3 := R2 - R23 = 16.551$$

$$t2 := 100 \sqrt[4]{P \cdot R2 + \left( \frac{tk}{100} \right)^4} - 273 = 1.402 \times 10^3$$

$$t3 := 100 \sqrt[4]{P \cdot R3 + \left( \frac{tk}{100} \right)^4} - 273 = 1.01 \times 10^3$$

для справки..