

---

# Разработка программного обеспечения для решения задач теплотехники

# Постановка задачи:

---

- Разработка ПО для решения задач теплотехники
- Автоматизация рутинных расчетов
- Обеспечение возможности использования данного ПО в учебных целях

# Предметная область

---

- Теплопроводность - это перенос тепловой энергии, который обусловлен движением микроструктурных элементов тела, зависящим от местной температуры.
- В чистом виде теплопроводность можно наблюдать только в твердых телах.
- Процесс переноса теплоты теплопроводностью зависит от пространственно-временного распределения температуры в теле, иначе - от температурного поля, которое в общем случае является нестационарным.
- Температурное поле может быть и стационарным. При этом температура во всех точках тела остается неизменной с течением времени.
- Тепловое излучение – это особый вид переноса тепловой энергии, осуществляемого электромагнитными волнами. Законы теплового излучения тождественны законам оптики и электромагнетизма. Теория представляет лучистый перенос теплоты как поток, имеющий как волновой, так и квантовый характер распространения. Количество теплоты, излучаемой нагретым телом, пропорционально четвертой степени абсолютной температуры этого тела

---

# Разработка алгоритма в таблицах Excel

# Стационарная теплопроводность в плоской стенке

Исходные данные:	
S1=	0,345
S2=	0,115
F=	6,75
t1=	1340
t2=	15
$\lambda_1=$	1,3
$\lambda_2=$	0,36
$\alpha_1=$	175
$\alpha_2=$	17,5

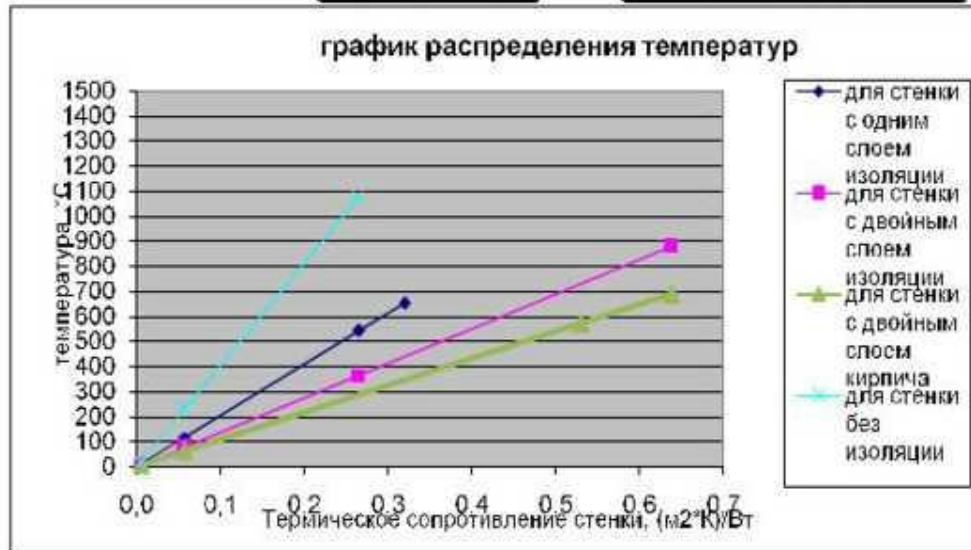
Задача 1: (без изоляции)	
r1=	0,00571
r2=	0,26538
r3=	0,05714
R=	0,32824
q=	4036,659
Q=	27247,4
tct1=	1316,93
tct2=	245,666

Задача 2: (с изоляцией S2)	
r1=	0,005714
r2=	0,265385
r3=	0,319444
r4=	0,057143
R=	0,647686
q=	2045,744
Q=	13808,77
tct1=	1328,31
tct2=	785,4011
tct3=	131,8996

Задача 3: с двойным слоем изоляции S2	
r1=	0,005714286
r2=	0,265384615
r3=	0,638888889
r4=	0,057142857
R=	0,967130647
q=	1370,032067
Q=	9247,716455
tct1=	1332,171245
tct2=	968,585812
tct3=	93,28754671

Задача 4 с двойным слоем кирпича S1	
r1=	0,005714286
r2=	0,530769231
r3=	0,638888889
r4=	0,057142857
R=	1,232515263
q=	1075,037397
Q=	7256,502432
tct1=	1333,856929
tct2=	763,2601567
tct3=	76,43070842

для построения графика:	
tcti	r
23,07	0,005714286
1071	0,265384615
230,7	0,057142857
11,69	0,005714286
542,9	0,265384615
653,5	0,319444444
116,9	0,057142857
7,829	0,005714286
363,6	0,265384615
875,3	0,638888889
78,29	0,057142857
6,143	0,005714286
570,6	0,530769231
686,8	0,638888889



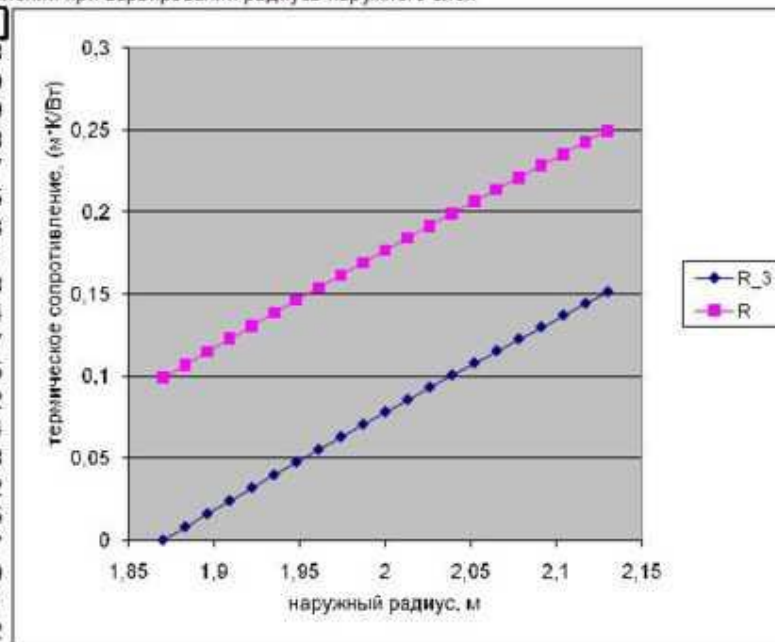
# Стационарная теплопроводность в цилиндрической стенке

Исходные данные	
$\alpha_1 =$	10000
$\alpha_2 =$	15
$t_1 =$	1000
$t_4 =$	90
$r_1 =$	1.67
$r_2 =$	1.7
$r_3 =$	1.87
$r_4 =$	2
$\lambda_1 =$	2
$\lambda_2 =$	1.06
$\lambda_3 =$	0.86
$l =$	4.2

Решение задач					
1 слой		2 слой		3 слой	
$R_{-1} =$	0,008902	$R_{-1} =$	0,008902	$R_{-1} =$	0,0089
$q_{-1} =$	641945,6	$R_{-2} =$	0,089915	$R_{-2} =$	0,08992
$Q =$	2696171	$R =$	0,098818	$R_{-3} =$	0,07815
		$q_{-1} =$	57831,62	$R =$	0,17697
		$Q =$	242893,6	$q_{-1} =$	32293
		$t_2 =$	918,0196	$Q =$	135630
				$t_2 =$	954,223
				$t_3 =$	491,861

Расчет термических сопротивлений при варьировании радиуса наружного слоя

$r_4$	$R_3$	$R$
1,87	0	0,0988
1,883	0,00806	0,1069
1,896	0,01606	0,1149
1,909	0,024	0,1228
1,922	0,03189	0,1307
1,935	0,03973	0,1385
1,948	0,04752	0,1463
1,961	0,05525	0,1541
1,974	0,06293	0,1618
1,987	0,07057	0,1694
2	0,07815	0,177
2,013	0,08568	0,1845
2,026	0,09317	0,192
2,039	0,10061	0,1994
2,052	0,108	0,2068
2,065	0,11534	0,2142
2,078	0,12264	0,2215
2,091	0,12989	0,2287
2,104	0,1371	0,2359
2,117	0,14426	0,2431
2,13	0,15138	0,2502

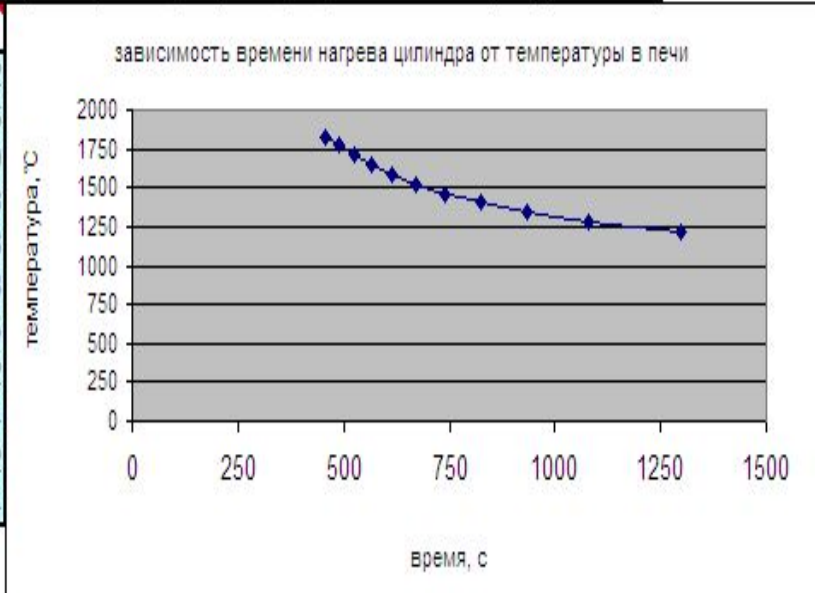


# Нестационарная теплопроводность

Исходные данные		Решение задачи	
t_печ =	1220	a_m =	7,63E-06
t_нач =	20	Bi =	0,583333
t_пов =	1100	Q_п =	0,1
d =	0,14	R_ц =	0,862883
l_m =	42	N_ц =	1,126576
C_m =	700	m2_ц =	1,032232
r_m =	7860	t =	1340,168
a S =	350	Fo =	2,087814
		Q_c =	0,130559
		t_c =	1063,329

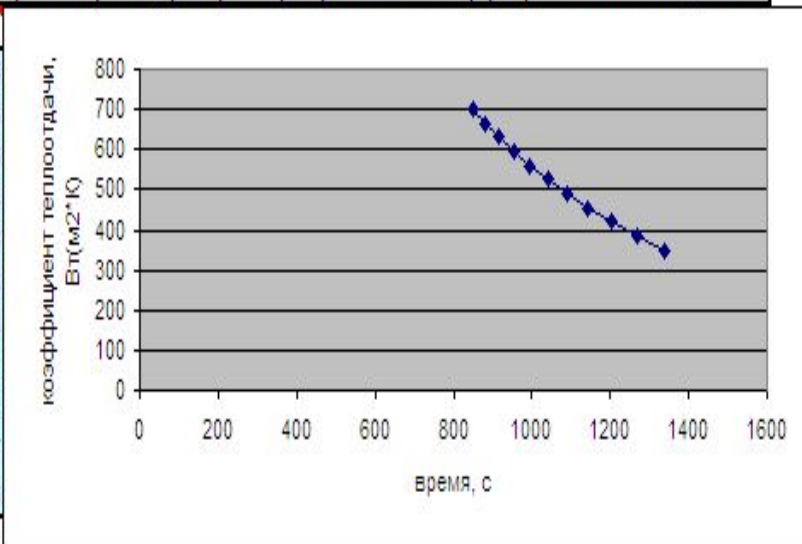
Расчет времени нагрева цилиндра при варьировании температуры в печи:

t_печ	τ
1220	1298,32
1281	1080,586
1342	934,0729
1403	825,8233
1464	741,3258
1525	672,9133
1586	616,0505
1647	567,8392
1708	526,3194
1769	490,1072
1830	458,1914



Расчет времени нагрева цилиндра при варьировании коэффициента теплоотдачи:

$\alpha_\Sigma$	τ
350	1340,168
385	1267,643
420	1202,403
455	1143,395
490	1089,763
525	1040,798
560	995,9118
595	954,611
630	916,4783
665	881,1587
700	848,3483



# Потери теплоты излучением

Исходные данные

$t_{\text{печ}}$	= 900
$B$	= 1,4
$H(D)$	= 1,2
$S$	= 0,46
$\tau$	= 720
$C_0$	= 5,7

Решение задачи

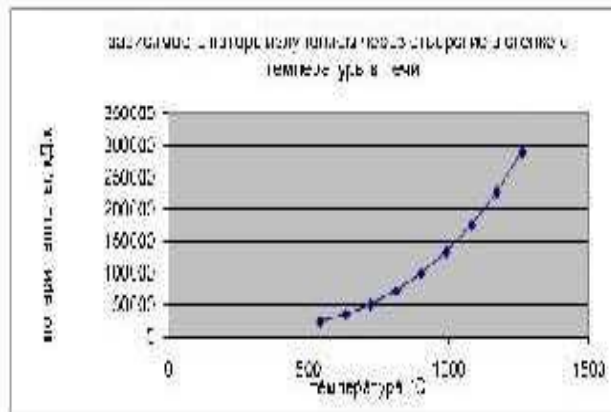
$F$	= 1,68
$H(S/D/S)$	= 2,61
$B/H$	= 1,17
$\phi$	= 0,7625
$Q_{\text{л}}$	= 82278
$Q_{\text{л}}$	= 99524

Выбор в зависимости от  $H/S$  и  $B/H$ .

$\phi$	= 0,525
--------	---------

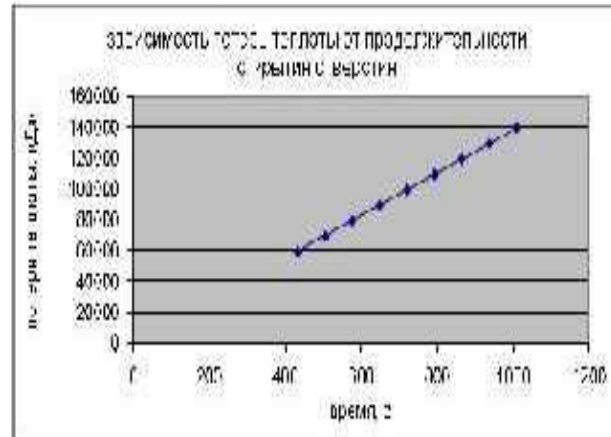
Расчет лучистого потока при варьировании температуры в печи

$t_{\text{печ}}$	$Q_{\text{л}}$
540	22966,58
630	34953,05
720	51112,97
810	72318,25
900	99523,62
990	133766,5
1080	176167,3
1170	227928,9
1260	290337,2



Расчет лучистого потока при варьировании времени открытия отверстия в стенке

$\tau$	$Q_{\text{л}}$
432	59714,17
504	69666,53
576	79618,89
648	89571,26
720	99523,62
792	109476
864	119428,3
936	129380,7
1008	139333,1

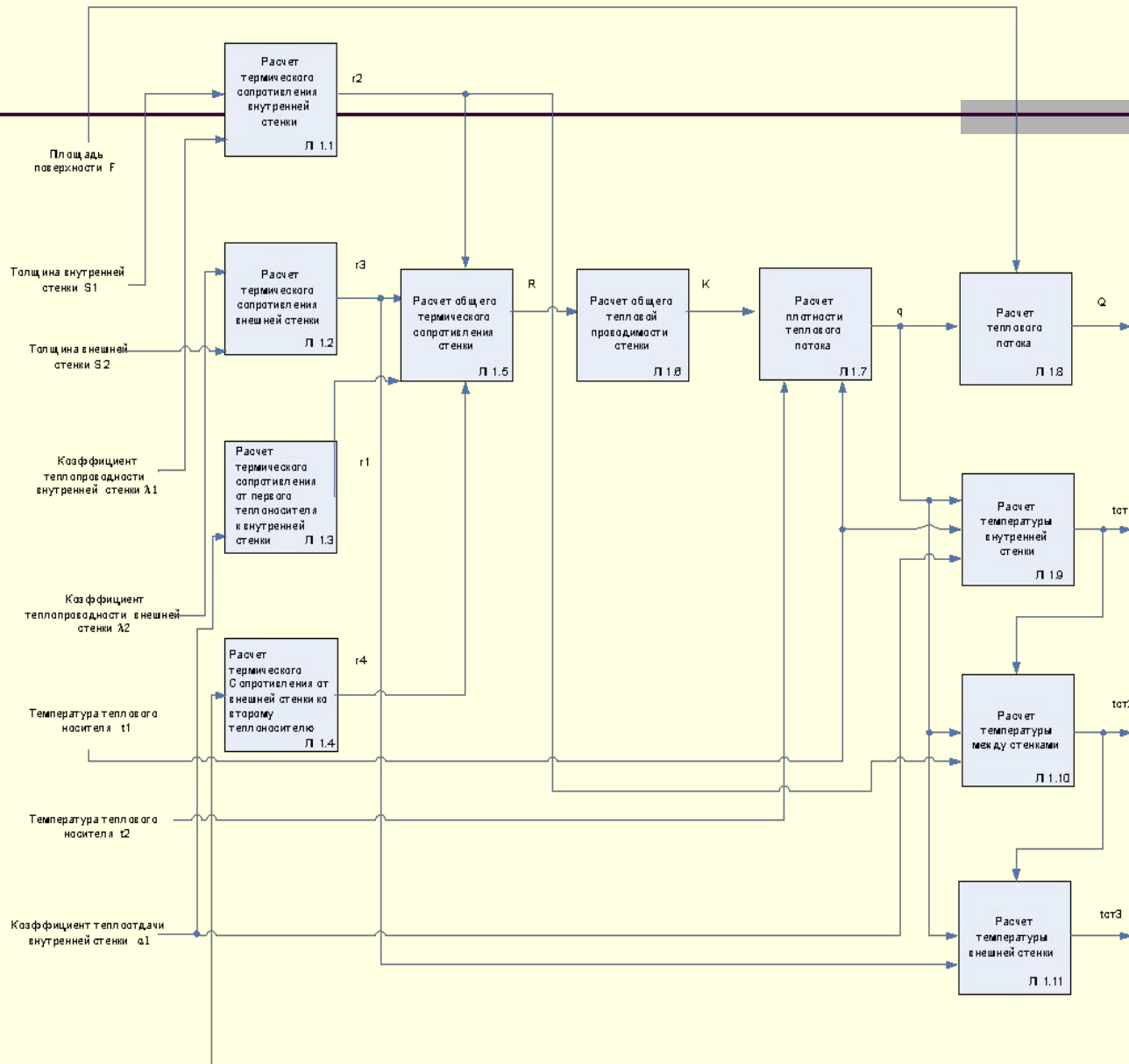




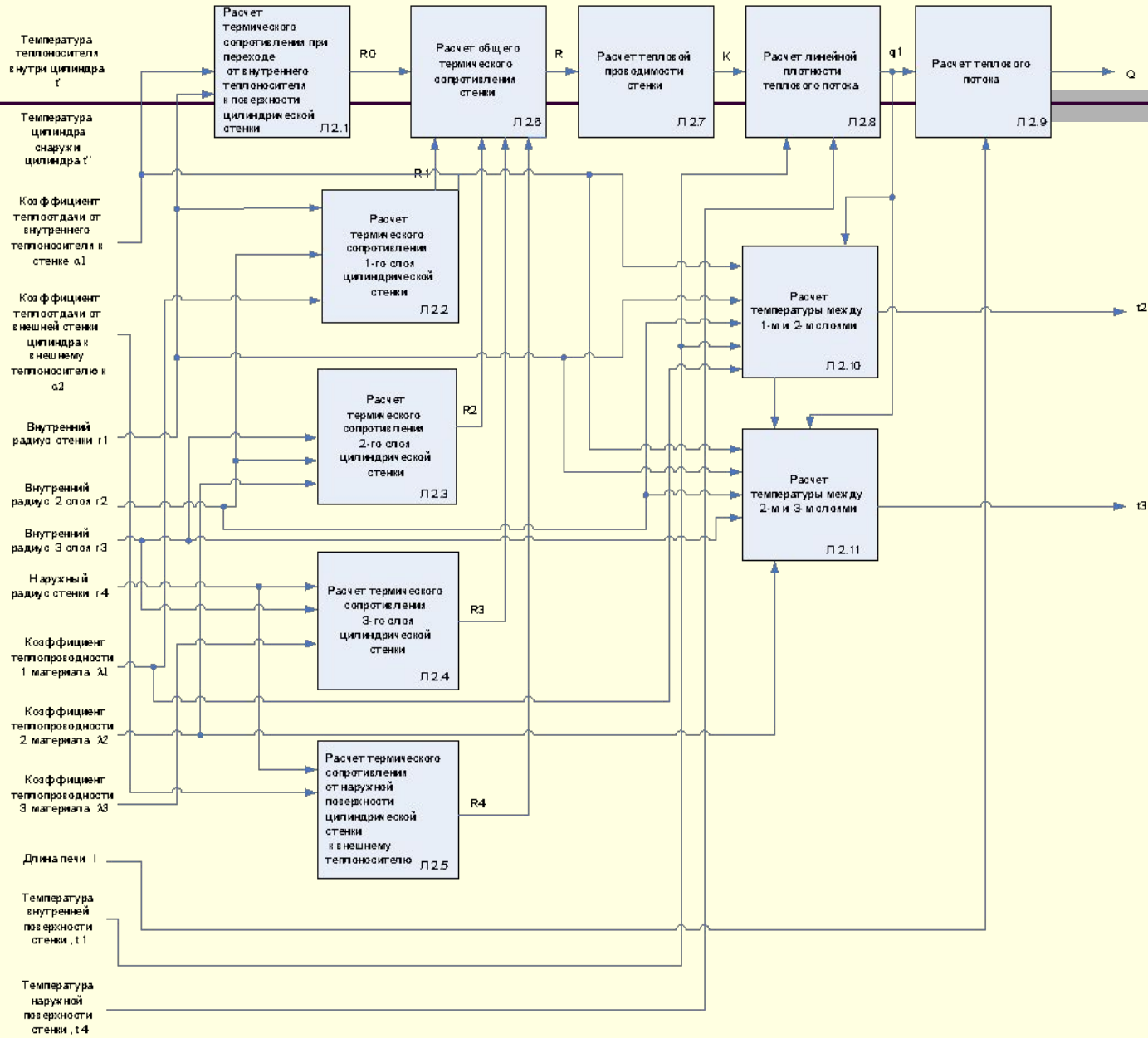
---

# Визуализация алгоритма расчета в пакете MS Visio

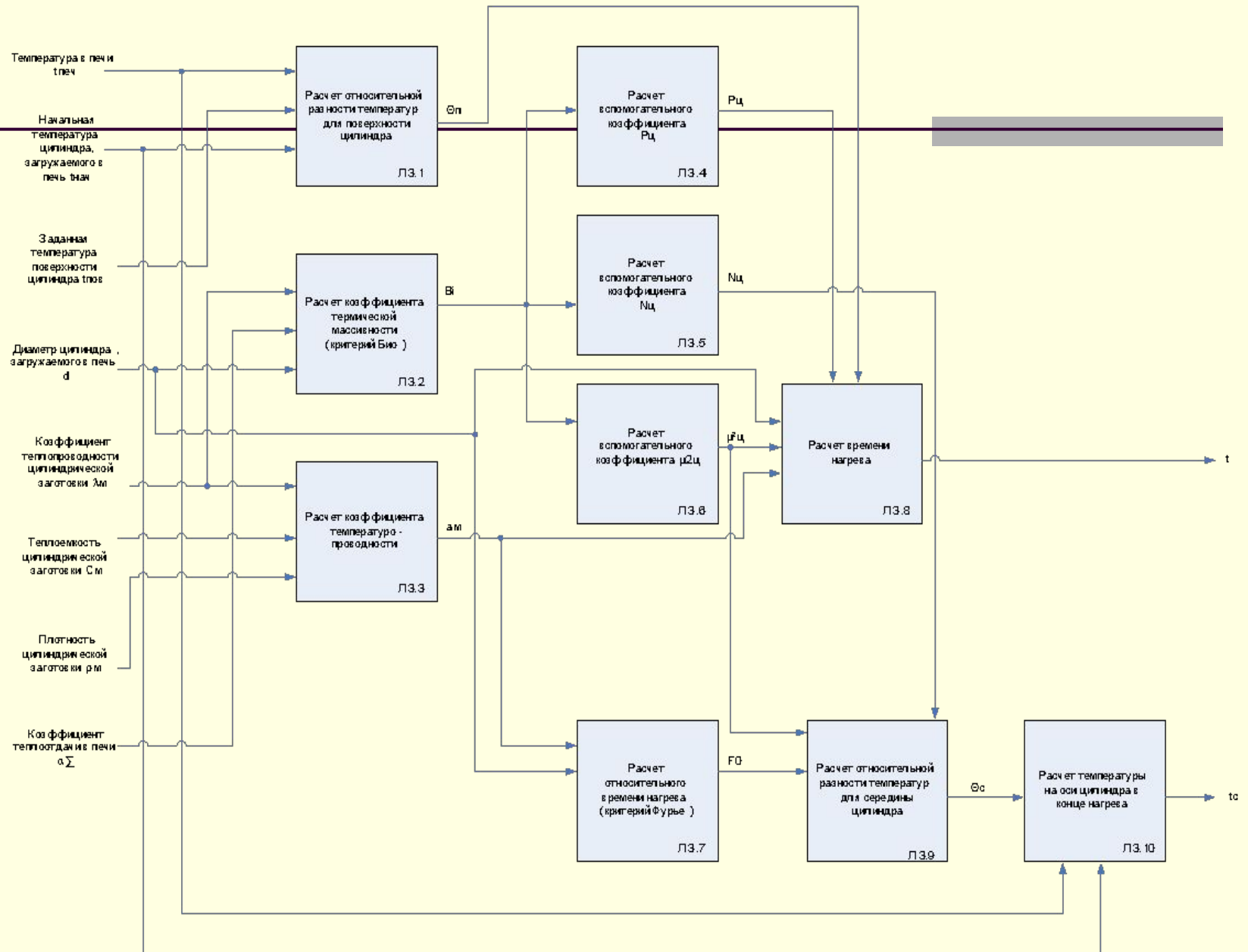
# Стационарная теплопроводность в плоской стенке



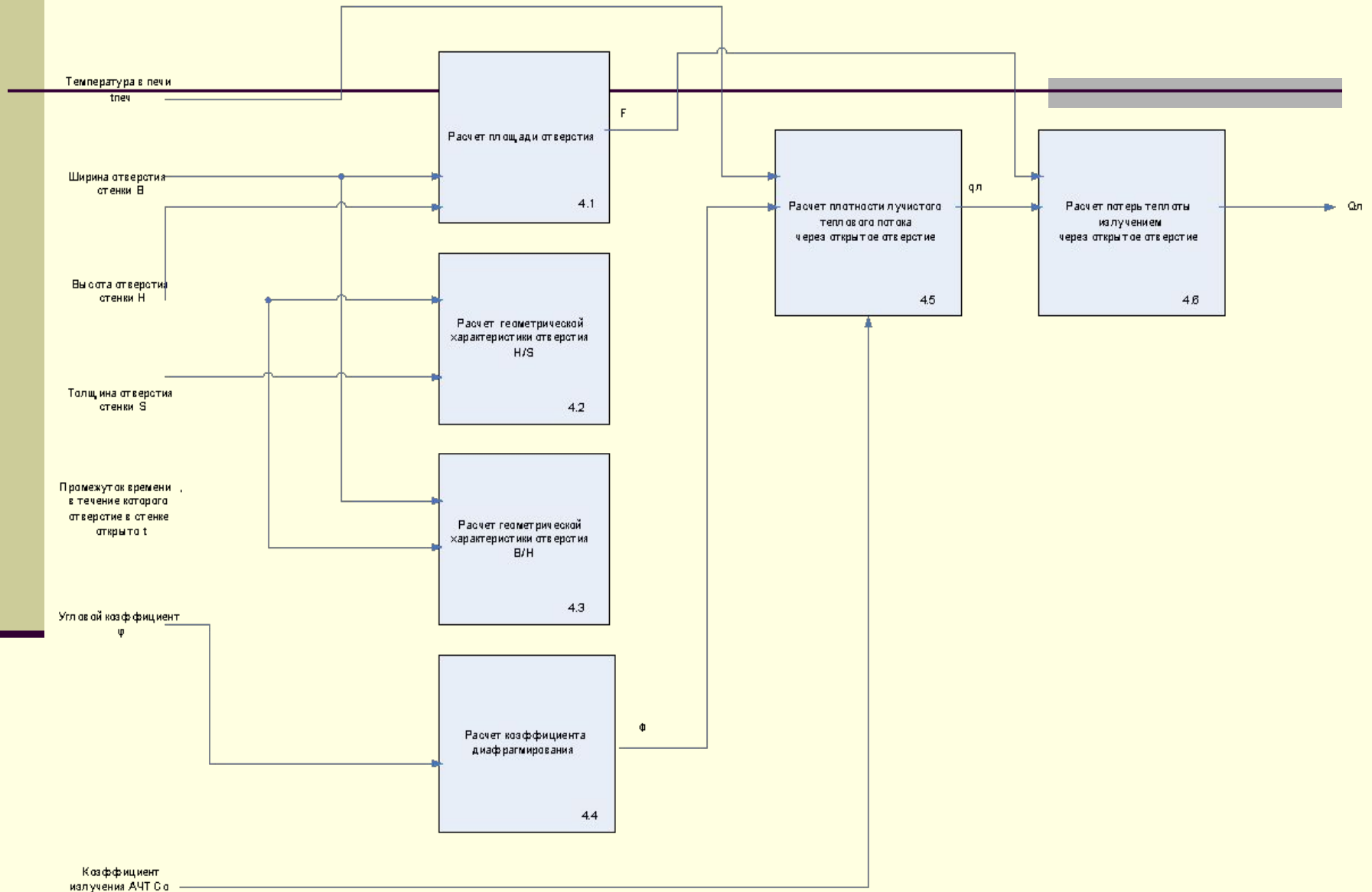
# Стационарная теплопроводность в цилиндрической стенке



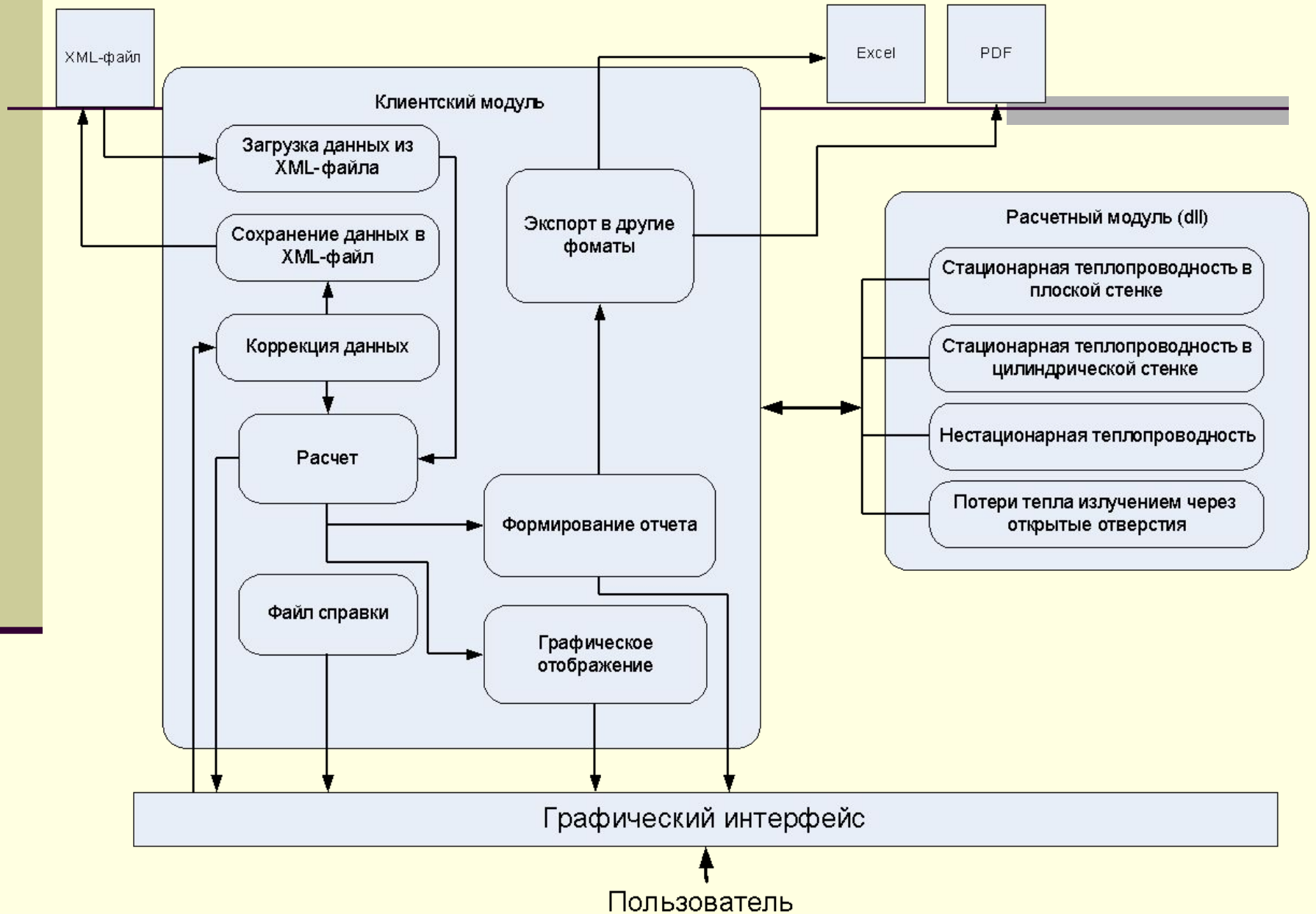
# Нестационарная теплопроводность



# Потери теплоты излучением через открытые отверстия



# Архитектура ПО



# Реализация программного средства в среде MS Visual Studio

---

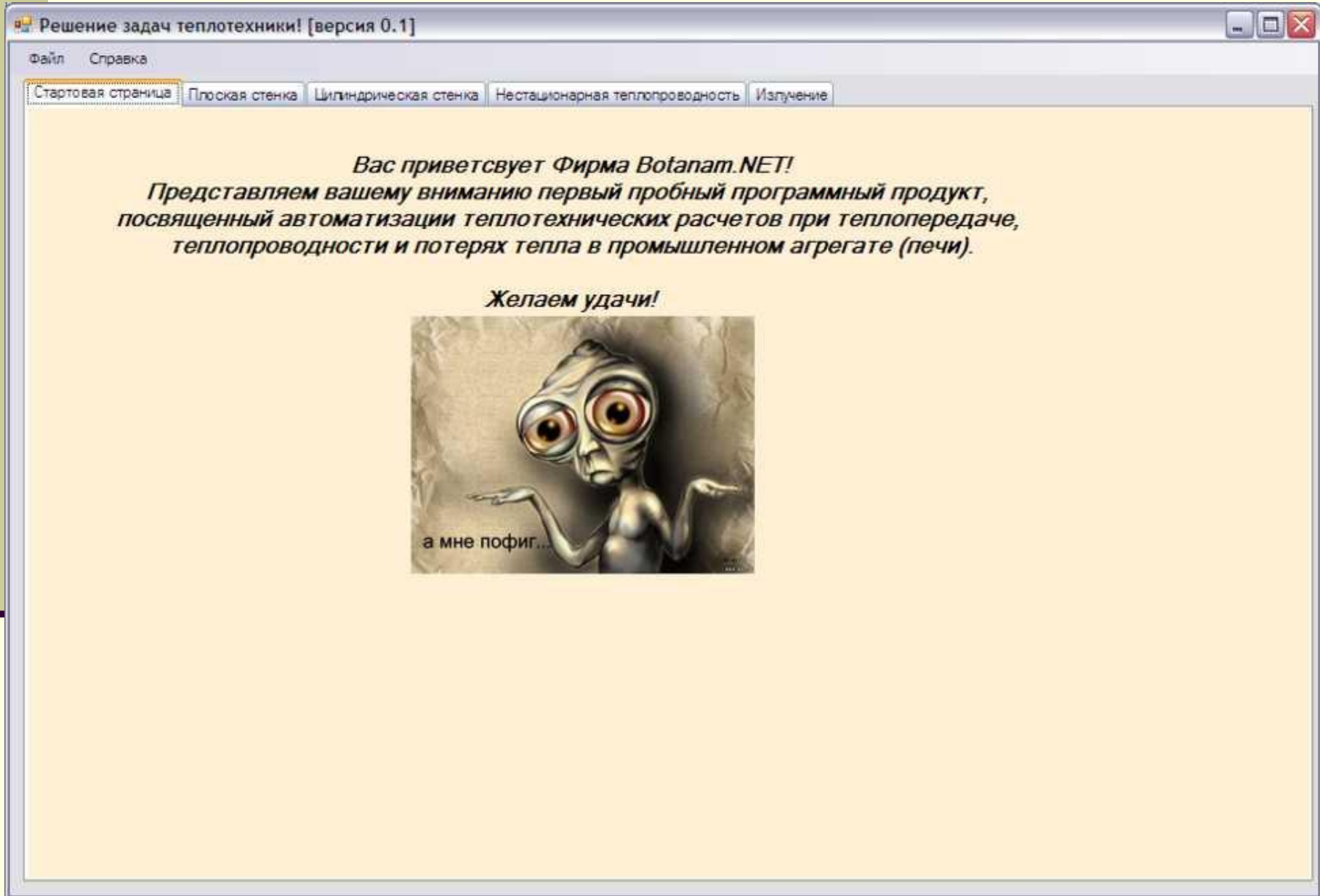
- Проектируемое программное средство создано в среде MS Visual Studio 2005.NET на языке C#.
- Выбор языка C# обусловлен его простотой, но в то же время выразительностью с точки зрения реализации современных концепций программирования.
- Программа включает в себя четыре независимых расчета, расположенных на отдельных вкладках одной формы – «Расчет задач теплотехники».

# Программное обеспечение

«Расчет задач теплотехники»



# Стартовая страница



# Стационарная теплопроводность в плоской стенке

Решение задач теплотехники! [версия 0.1]

Файл Справка

Стартовая страница **Плоская стенка** Цилиндрическая стенка Нестационарная теплопроводность Излучение

Выберите вид стенки: без изоляции

Исходные данные:

Толщина стенки  $S_1 = 0,345$  м

Площадь поверхности  $F = 6,75$  м<sup>2</sup>

Температура газа около внутренней стенки  $t_1 = 1340$  °C

Температура воздуха около внешней стенки  $t_2 = 15$  °C

Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности  $\alpha_1 = 170$  Вт/м<sup>2</sup>·K

Коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности  $\alpha_2 = 17$  Вт/м<sup>2</sup>·K

Коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda_1 = 1,3$  Вт/(м·K)

Принять изменения

Рассчитать

График

Отчет

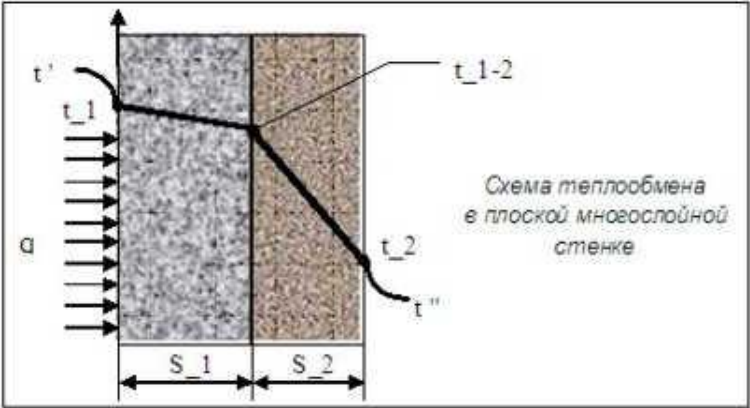


Схема теплообмена в плоской многослойной стенке

Расчет:

Термическое сопротивление от газа к внутренней стенке  $r_1 = 0,006$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт

Термическое сопротивление стенки  $r_2 = 0,265$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт

Термическое сопротивление от наружной поверхности стенки к воздуху  $r_4 = 0,059$

Общее термическое сопротивление стенки  $R = 0,33$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт

Плотность теплового потока  $q = 4014,1$  Вт/м<sup>2</sup> Температура внутренней поверхности стенки  $t_{ст1} = 1316,4$  °C

Тепловой поток  $Q = 27094,8$  Вт Температура наружной поверхности стенки  $t_{ст3} = 251,1$  °C

# Стационарная теплопроводность в цилиндрической стенке

Решение задач теплотехники! [версия 0.1]

Файл Справка

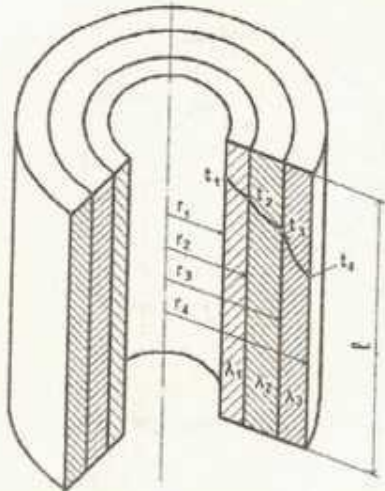
Стартовая страница Плоская стенка **Цилиндрическая стенка** Нестационарная теплопроводность Излучение

**Исходные данные:**

Температура внутренней поверхности стенки  $t_1 = 1000$  °C  
Температура наружной поверхности стенки  $t_4 = 90$  °C  
Внутренний радиус стенки  $r_1 = 1.67$  м  
Внутренний радиус второго слоя  $r_2 = 1.7$  м  
Внутренний радиус третьего слоя  $r_3 = 1.87$  м  
Наружный радиус стенки  $r_4 = 2$  м  
Коэффициент теплопроводности 1-го материала  $\lambda_1 = 2$  Вт/(м·K)  
Коэффициент теплопроводности 2-го материала  $\lambda_2 = 1$  Вт/(м·K)  
Коэффициент теплопроводности 3-го материала  $\lambda_3 = 0.8$  Вт/(м·K)  
Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности цилиндра к внешнему теплоносителю  $\alpha_2 = 15$  Вт/м<sup>2</sup>·K  
Длина печи  $l = 4$  м

**Расчет:**

Термическое сопротивление 1-го слоя стенки  $R_1 = 0.009$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт  
Термическое сопротивление 2-го слоя стенки  $R_2 = 0.095$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт  
Термическое сопротивление 3-го слоя стенки  $R_3 = 0.084$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт  
Термическое сопротивление от наружной поверхности стенки к внешнему теплоносителю  $R_4 = 0.033$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт  
Общее термическое сопротивление стенки  $R = 0.222$  (м<sup>2</sup>·K)/Вт  
Линейная плотность теплового потока  $q_l = 25793.8$  Вт/м  
Тепловой поток  $Q = 103175$  Вт  
Температура между 1 и 2 слоями  $t_2 = 963.436$  °C  
Температура между 2 и 3 слоями  $t_3 = 571.968$  °C



The diagram shows a cross-section of a cylindrical wall with three concentric layers. The innermost layer has an inner radius  $r_1$  and thermal conductivity  $\lambda_1$ . The middle layer has an inner radius  $r_2$  and thermal conductivity  $\lambda_2$ . The outermost layer has an inner radius  $r_3$  and thermal conductivity  $\lambda_3$ . The outermost surface has a radius  $r_4$ . The inner surface temperature is  $t_1$ , the interface between the first and second layers is  $t_2$ , the interface between the second and third layers is  $t_3$ , and the outer surface temperature is  $t_4$ . The wall thickness is  $l$ .

# Нестационарная теплопроводность

Решение задач теплотехники! [версия 0.1]

Файл Справка

Стартовая страница Плоская стенка Цилиндрическая стенка **Нестационарная теплопроводность** Излучение

**Исходные данные:**

Температура в печи  $t_{\text{печ}} = 1220$  °C

Начальная температура цилиндра  $t_{\text{нач}} = 20$  °C

Заданная температура поверхности цилиндра  $t_{\text{пов}} = 1100$  °C

Диаметр цилиндра  $d = 0,14$  м

Коэффициент теплопроводности цилиндра  $\lambda_m = 42$  Вт/(м\*К)

Теплоемкость цилиндра  $C_m = 700$  Дж/(кг\*К)

Плотность цилиндра  $\rho_m = 7860$  кг/м<sup>3</sup>

Коэффициент теплоотдачи на поверхности цилиндра  $\alpha_{\Sigma} = 350$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К)

**Расчет:**

Коэффициент температуропроводности  $a_m = 7,63E-06$  м<sup>2</sup>/с

Коэффициент термической массивности (критерий Био)  $Bi = 0,583$

Относительная разность для поверхности цилиндра  $\Theta_p = 0,1$

Вспомогательный коэффициент  $P_{\text{ц}} = 0,863$

Вспомогательный коэффициент  $N_{\text{ц}} = 1,126$

Вспомогательный коэффициент  $\mu_{\text{ц}}^2 = 1,032$

Время нагрева  $\tau = 1340,1$  с

Относительное время нагрева (критерий Фурье)  $Fo = 2,088$

Относительная разность для середины цилиндра  $\Theta_c = 0,131$

Температура на оси цилиндра в конце нагрева  $t_c = 1063,3$  °C

Принять изменения

Рассчитать

Отчет

График "Время нагрева( $t_{\text{печ}}$ )"

График "Время нагрева(коэффициент теплоотдачи)"

# Потери теплоты излучением через открытые отверстия

Решение задач теплотехники! [версия 0.1]

Файл Справка

Стартовая страница Плоская стенка Цилиндрическая стенка Нестационарная теплопроводность **Излучение**

Выберите форму отверстия:

Исходные данные:

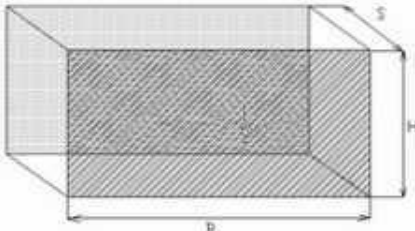
Ширина отверстия стенки  $B =$   м

Температура в печи  $t_{\text{печ}} =$   °C

Высота отверстия  $H =$

Толщина отверстия  $S =$

Время, в течение которого открыто отверстие  $\tau =$   с



Расчет:

Площадь отверстия  $F =$   м<sup>2</sup>

Геометрическая характеристика отверстия  $H/S =$

Геометрическая характеристика отверстия  $B/H =$

Угловой коэффициент  $\phi$

Коэффициент диафрагмирования  $\Phi =$

Плотность лучистого теплового потока через отверстие  $q_{\text{л}} =$   Вт

Потери теплоты излучением через отверстие  $Q =$   кДж

Принять изменения

Рассчитать

Отчет

График  $Q(t_{\text{печ}})$

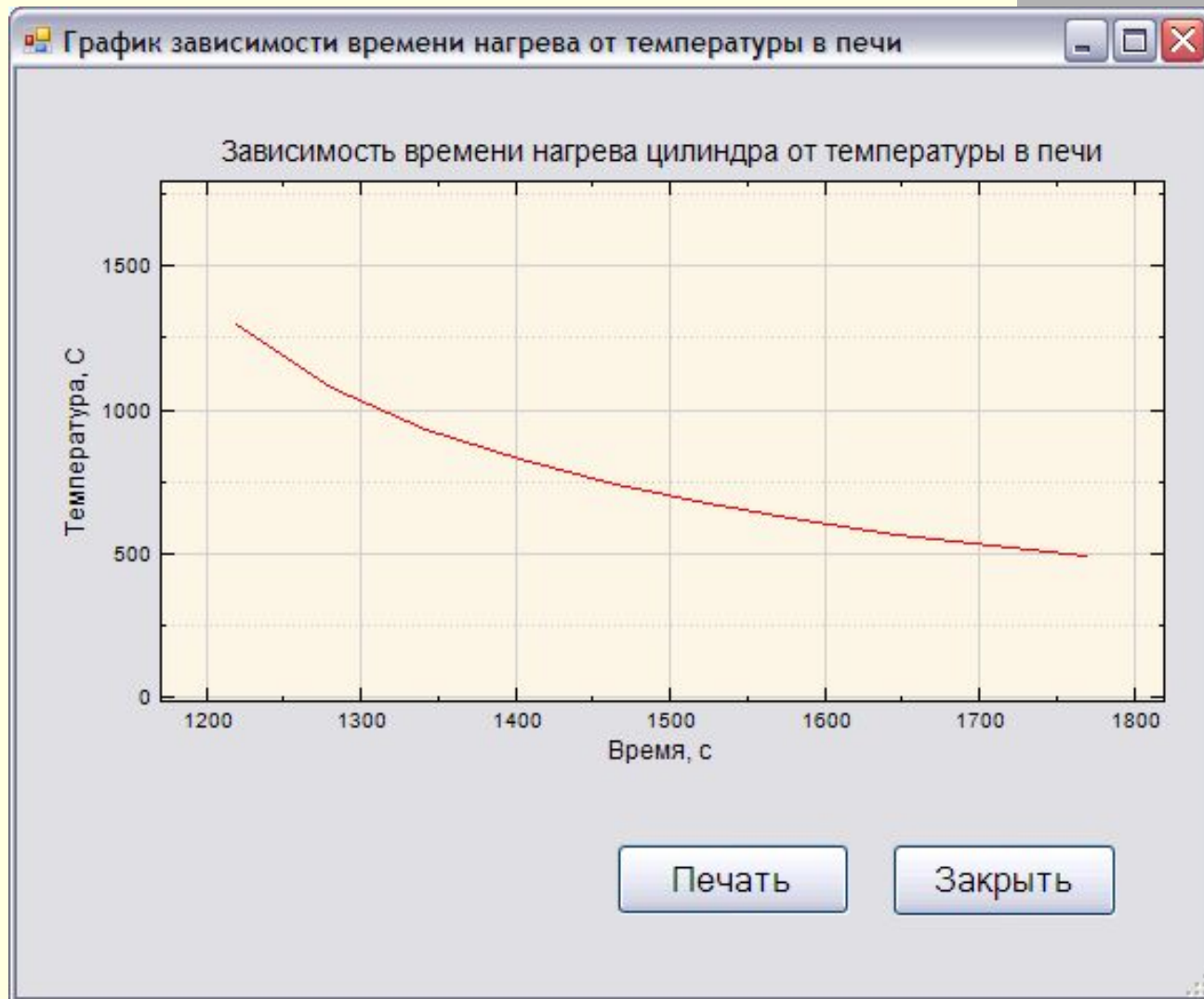
График  $Q(t)$

# Дополнительные функции расчета:

---

- Построение графиков
- Формирование отчетов
- Вызов справки
- Установка ограничений на поля ввода исходных данных в соответствии с физикой процесса

# График для задачи по нестационарной теплопроводности



# Отчет

Отчет

1 of 1 Page Width

Решение задач теплотехники:

Задача1: Теплопроводность в плоской стенке (с изоляцией)

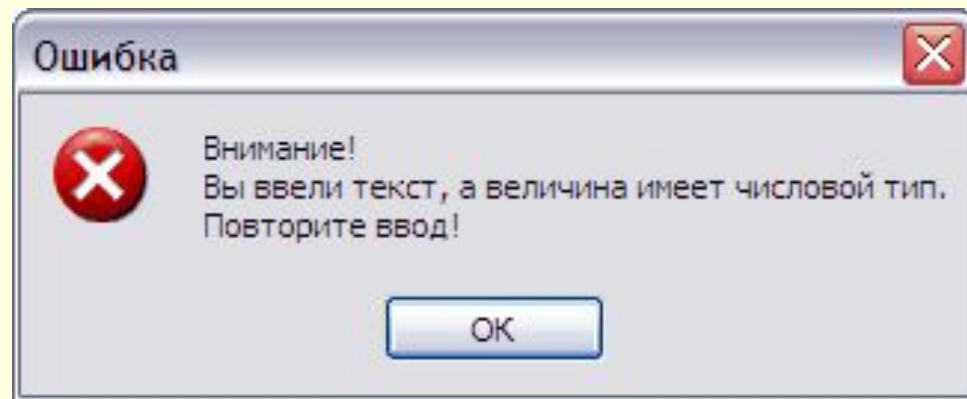
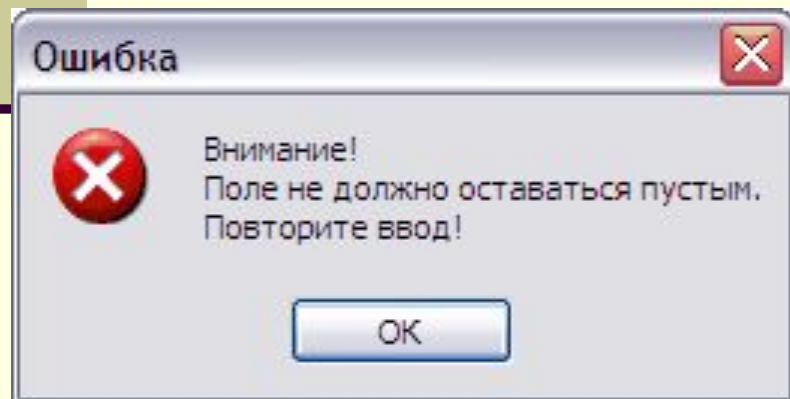
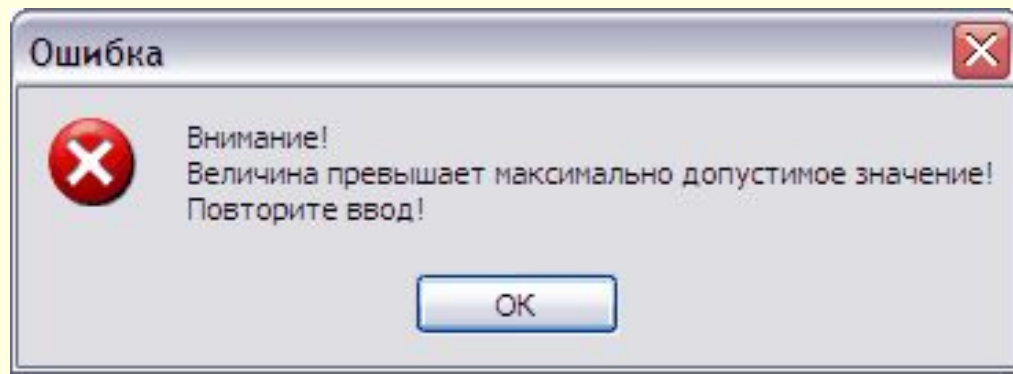
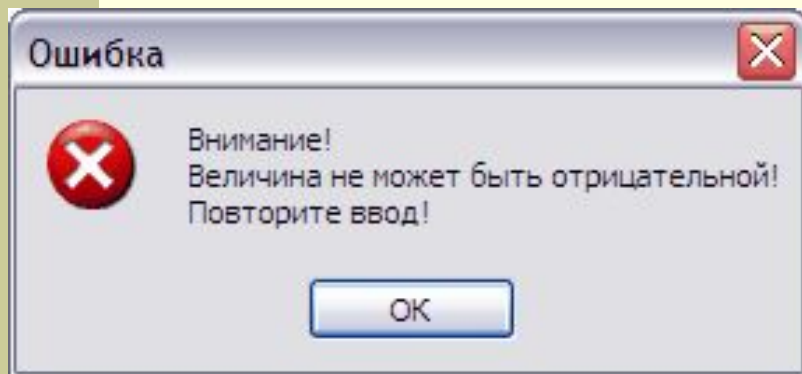
Исходные данные:

Толщина стенки S1, м	0,345
Толщина изоляции S2, м	0,115
Площадь поверхности, м2	6,75
Температура газа, омывающего внутреннюю поверхность стенки, К	1340
Температура воздуха, омывающего наружную поверхность стенки, К	15
Коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м2*К)	1,3
Коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м2*К)	0,36
Коэффициент теплоотдачи на внутренней	170



# Ограничения на поля и обработка исключительных ситуаций

---



# Справка

The screenshot shows a help window titled "Задачи теплотехники" (Thermodynamics Tasks). The window has a standard Windows XP-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. Below the title bar is a navigation bar with icons and labels: "Скрыть" (Hide), "Назад" (Back), "Вперед" (Forward), "Домой" (Home), "Печать" (Print), and "Параметры" (Parameters). Below the navigation bar are tabs for "Содержание" (Table of Contents), "Поиск" (Search), and "Избранное" (Favorites). The main content area is split into two panes. The left pane shows a tree view of the help topics. The right pane displays the content of the selected topic, "Условия выполнения" (Execution Conditions).

**Задачи теплотехники**

Скрыть    Назад    Вперед    Домой    Печать    Параметры

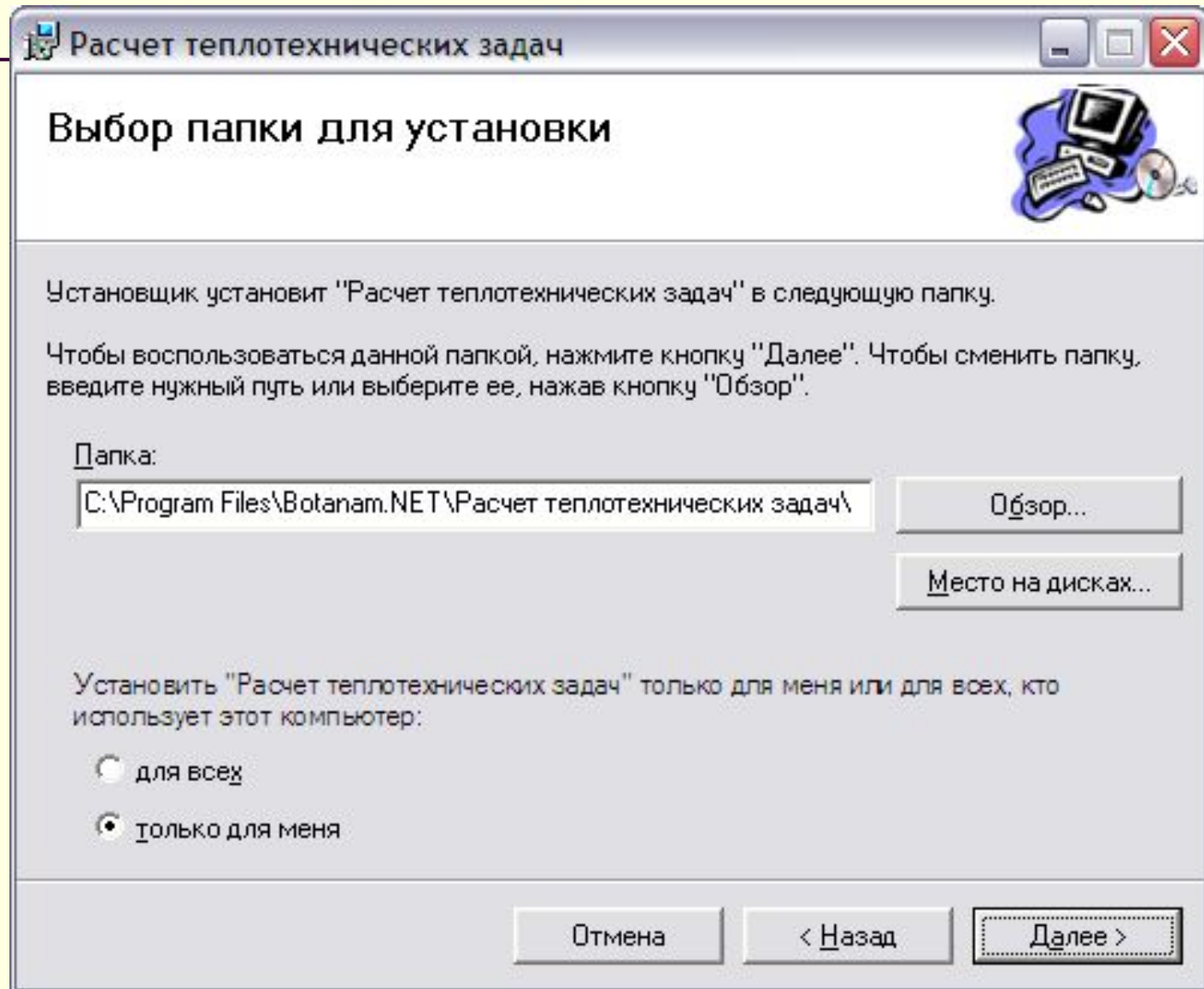
Содержание | Поиск | Избранное

- [-] Введение
  - [?] Предметная область
  - [?] Назначение программы
  - [?] **Условия выполнения**
- [-] Интерфейс
  - [?] Меню
- [-] Закладки
  - [?] Плоская стенка
  - [?] Цилиндрическая стенка
  - [?] Нестационарная теплопроводность
  - [?] Излучение
- [-] Технология работы
  - [+] Исходные данные
    - [?] Расчет
    - [?] Графики
    - [?] Отчет
- [-] Сообщения об ошибках
  - [?] Выполнение расчета
  - [?] Корректировка полей

**Условия выполнения**    [Previous](#)    [Top](#)    [Next](#)

Программа работает под управлением операционной системы семейства Windows NT/2000/XP. Для работы программы необходимо произвести ее установку (инсталляцию) на компьютер.

# Установка ПО



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В процессе проектирования и создания программного средства было создано следующее:

- блок-схема проектируемой программы;
- тестовый файл расчета и проверки методики расчета в Excel;
- спецификации внешних функций;
- архитектура программного обеспечения;
- программное средство для решения задач теплотехники;
- справочная система программы;
- установочный файл;