

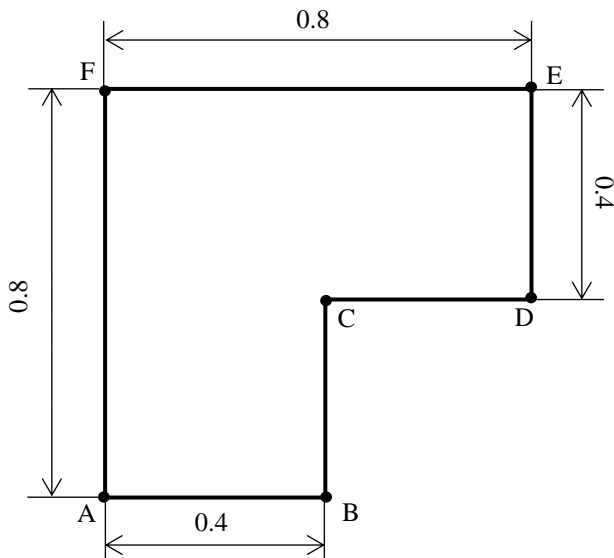
# Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности

## Тест 1

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Аналитическое решение:** G.T. Symm-, National Physical Laboratory Division of Numerical Analysis and Computing, Treatment of singularities in solution of Laplace's equation by an integral equation method, NPL Report NAC 31, jan. 1973.

**Геометрия:**



**Характеристики материалов:**

$$\lambda = 1 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$$

**Граничные условия:**

Для сегмента AF:  $T = 10^\circ\text{C}$ .

Для сегмента DE:  $T = 0^\circ\text{C}$

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

x(м)	z(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0	0	T (°C)	10	10	0
0	0.2	T (°C)	10	10	0
0	0.4	T (°C)	10	10	0
0	0.6	T (°C)	10	10	0
0	0.8	T (°C)	10	10	0
0.2	0	T (°C)	9.316	9.294	0.236
0.2	0.2	T (°C)	9.001	9.015	0.156
0.2	0.4	T (°C)	8.514	8.505	0.106
0.2	0.6	T (°C)	8.018	8.025	0.087
0.2	0.8	T (°C)	7.869	7.861	0.102
0.4	0	T (°C)	9.009	8.996	0.144
0.4	0.2	T (°C)	8.640	8.661	0.243
0.4	0.4	T (°C)	6.667	6.667	0.000
0.4	0.6	T (°C)	5.680	5.669	0.194
0.4	0.8	T (°C)	5.495	5.502	0.127
0.6	0.4	T (°C)	2.972	2.99	0.606
0.6	0.6	T (°C)	2.881	2.959	2.707
0.6	0.8	T (°C)	2.816	2.845	1.030
0.8	0.4	T (°C)	0	0	0
0.8	0.6	T (°C)	0	0	0
0.8	0.8	T (°C)	0	0	0

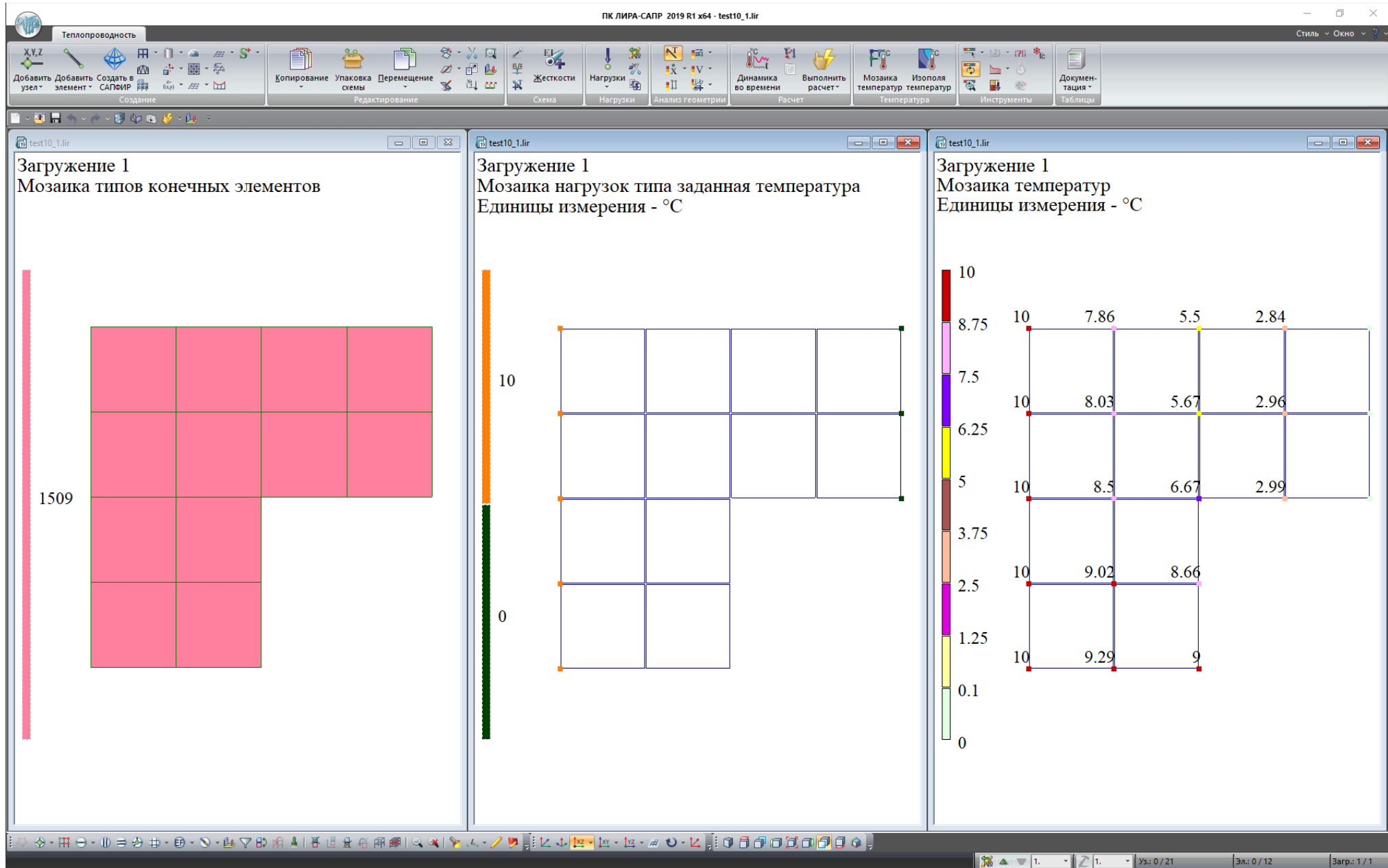
**Примечание:**

Для построения схемы использованы КЭ1509 – четырехугольные КЭ теплопроводности  
Количество узлов: 42.

Количество элементов: 24.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_1.zip

test10\_1



# Тест 2

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

## Геометрия:

Внутренний радиус:  $R_i=0.3\text{м}$   
Внешний радиус:  $R_e=0.35\text{м}$   
Длина:  $l$

## Характеристики материалов:

$\lambda=1\text{Вт/м}^\circ\text{C}$

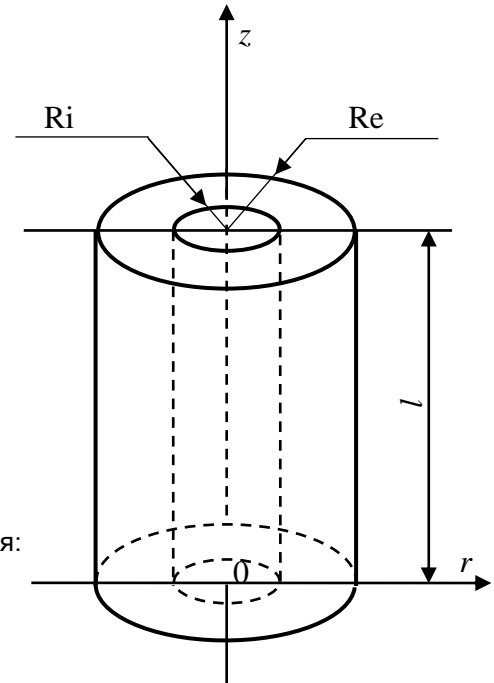
## Граничные условия:

Внутренний радиус цилиндра:  
заданная температура  $T_i=100^\circ\text{C}$ .

Внешний радиус цилиндра:  
заданная температура  $T_e=20,0^\circ\text{C}$ .

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(r) = T_i - \frac{\text{Log}(r/R_i)}{2\pi l \lambda} \phi$$
$$\phi = (T_i - T_e)/R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

$r(\text{м})$	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	$T (^\circ\text{C})$	100	100	0
0.31	$T (^\circ\text{C})$	82.98	82.98	0
0.32	$T (^\circ\text{C})$	66.51	66.51	0
0.33	$T (^\circ\text{C})$	50.54	50.54	0
0.34	$T (^\circ\text{C})$	35.04	35.04	0
0.35	$T (^\circ\text{C})$	20.00	20	0

## Примечание:

Для построения схемы использованы КЭ1509 – четырехугольные КЭ теплопроводности

Количество узлов:870

Количество элементов:725

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_2.zip

ПК ЛИРА-САПР 2019 R1 x64 - test10\_2.lir

Теплопроводность

Создание Редактирование Расчет Температура Инструменты Таблицы

Добавить узел Добавить элемент в САПФИР Создать в САПФИР

Копирование Упаковка схемы Перемещение

Жесткости Нагрузки Анализ геометрии

Динамика во времени Выполнить расчет

Мозаика температур Изополя температур

Документация

test10\_2.lir

test10\_2.lir

test10\_2.lir

Загрузка 1  
Мозаика типов конечных элементов

1509

Загрузка 1  
Мозаика нагрузок типа заданная температура  
Единицы измерения - °C

100  
20

Загрузка 1  
Мозаика температур  
Единицы измерения - °C

100  
82.98  
66.51  
50.54  
35.04  
20

z x

z x

z x

1. Загрузка 1 Средн 1. Уз: 0 / 870 Эл: 0 / 725 Загр: 1 / 1

# Тест 3

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

**Геометрия:**

Внутренний радиус:  $R_i=0.3\text{м}$

Внешний радиус:  $R_e=0.35\text{м}$

Длина:  $l$

**Характеристики материалов:**

$\lambda=1\text{Вт/м}^0\text{C}$

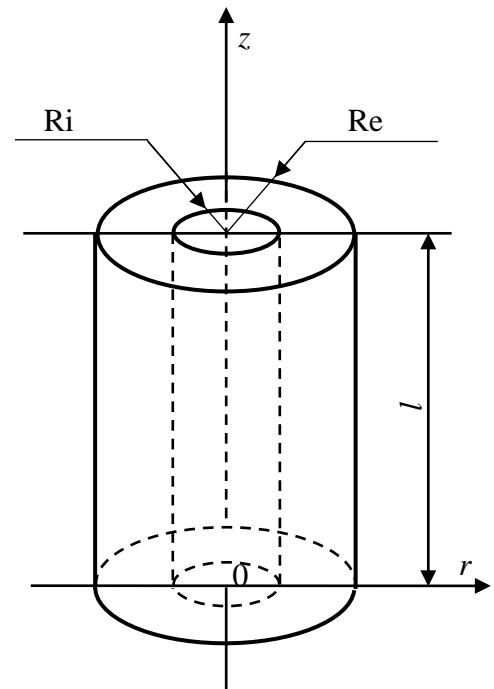
**Граничные условия:**

Внутренний радиус цилиндра:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h=30,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_i^e=100^\circ\text{C}$ .

Внешний радиус цилиндра:  
заданная температура  $T_e=20,0^\circ\text{C}$ .

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(r) = T_i^e - (R_f + \frac{\text{Log}(r/R_i)}{2\pi l \lambda}) \phi$$
$$\phi = (T_i^e - T_e) / R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

R(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	T (°C)	66.49	67.07	0.87
0.31	T (°C)	56.60	57.05	0.80
0.32	T (°C)	47.03	47.36	0.70
0.33	T (°C)	37.75	37.97	0.58
0.34	T (°C)	28.74	28.85	0.38
0.35	T (°C)	20.00	20	0

## Примечание:

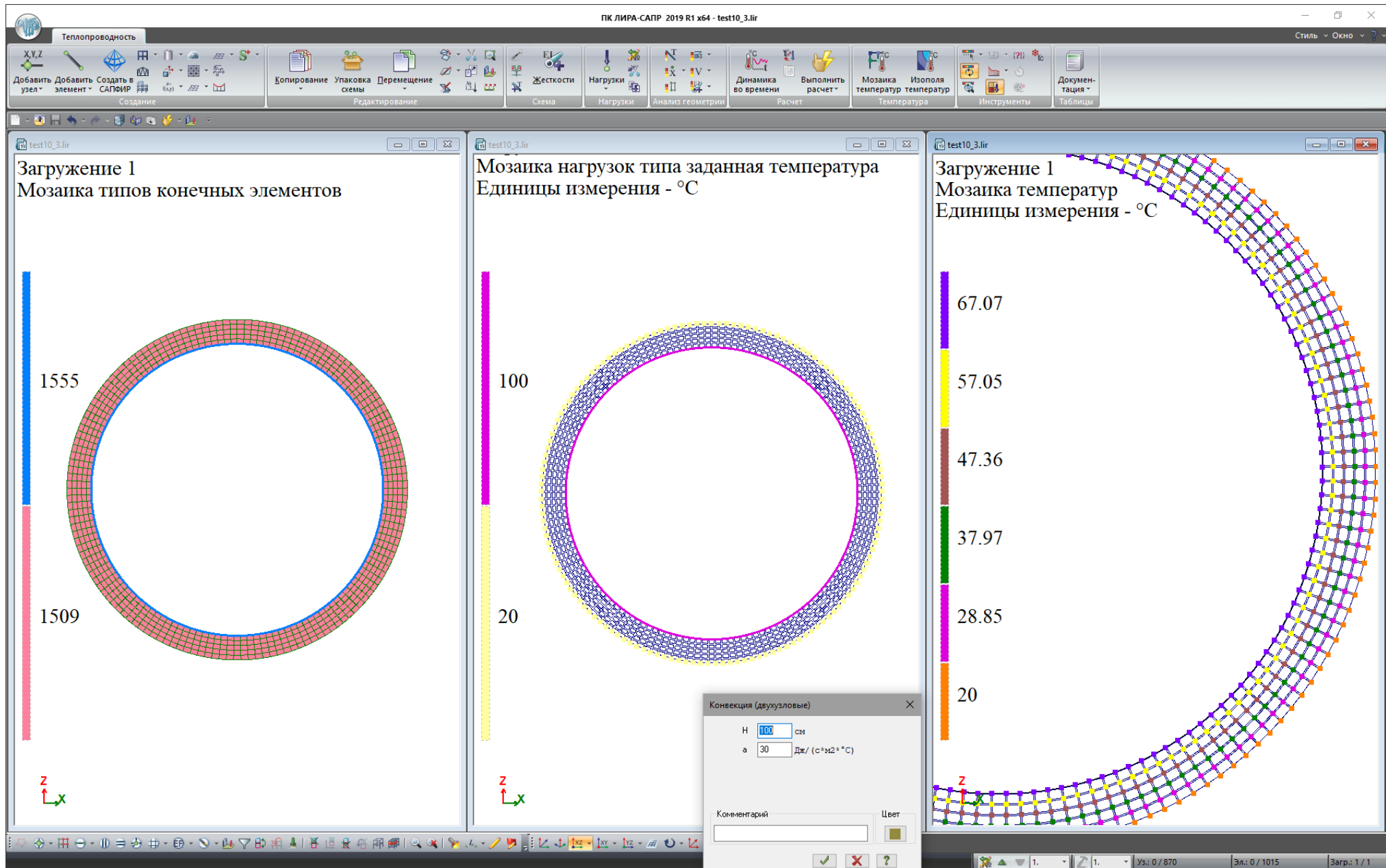
Для построения схемы использованы КЭ1509 – четырехугольные КЭ теплопроводности, 1555 — двухузловой КЭ конвективного теплообмена.

Количество узлов:870.

Количество элементов:1015.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_3.zip

test10\_3



# Тест 4

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

## Геометрия:

Внутренний радиус:  $R_i=0.3\text{м}$   
Внешний радиус:  $R_e=0.391\text{м}$   
Длина:  $l$   
Характеристики материалов:

$\lambda=40\text{Вт/м}^\circ\text{C}$

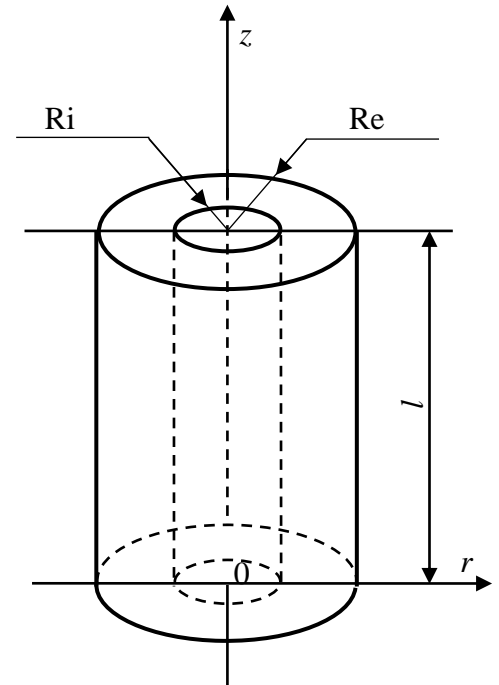
## Граничные условия:

Внутренний радиус цилиндра:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_i=150,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_i^e=500^\circ\text{C}$ .

Внешний радиус цилиндра:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_e=142,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_e^e=20^\circ\text{C}$ .

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(r) = T_i^e - \left( R_i + \frac{\text{Log}(r/R_i)}{2\pi l \lambda} \right) \phi$$
$$\phi = (T_i^e - T_e^e) / R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

R(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	T (°C)	272.27	272.1	0.062
0.391	T (°C)	205.05	204.71	0.166

## Примечание:

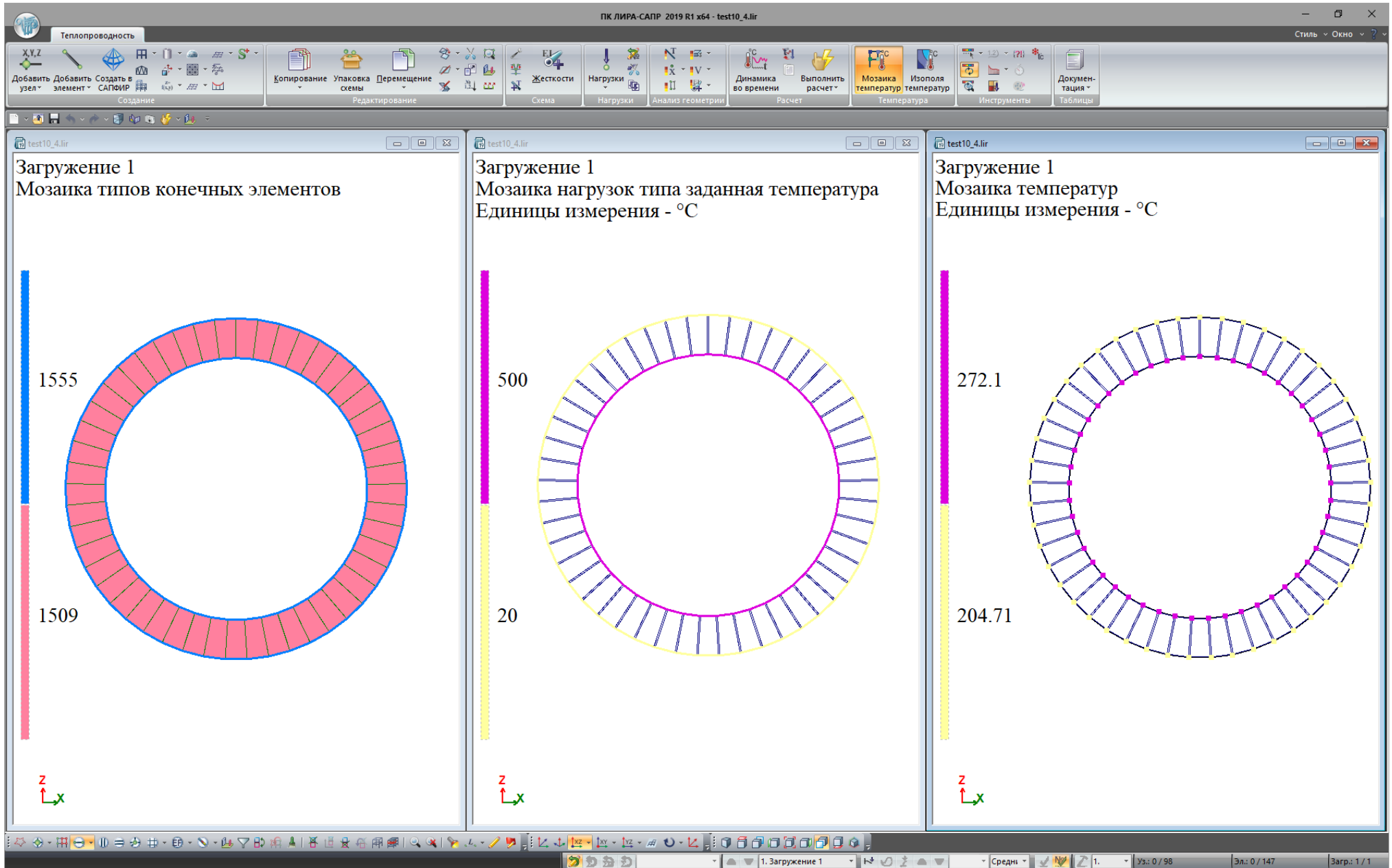
Для построения схемы использованы КЭ1509 – четырехугольные КЭ теплопроводности, 1555 — двухузловой КЭ конвективного теплообмена.

Количество узлов:98.

Количество элементов:147.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_4.zip

test10\_4





# Тест 5

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Аналитическое решение:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

**Геометрия:**

$L=0.05\text{m}$

**Характеристики материалов:**

$\lambda=0.75\text{Вт/м}^\circ\text{C}$

**Граничные условия:**

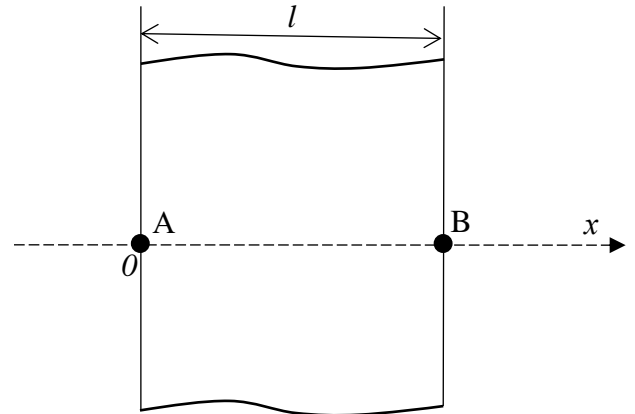
Заданная температура на концах А и Б:

Конец т. А: заданная температура  $T_A=100,0^\circ\text{C}$ ,

Конец т. В: заданная температура  $T_B=20,0^\circ\text{C}$ ,

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(x) = T_A - \frac{x}{\lambda S} \phi$$
$$\phi = (T_A - T_B) / R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

x(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.00	T (°C)	100.0	100.0	0
0.01	T (°C)	84.0	84.0	0
0.02	T (°C)	68.0	68.0	0
0.03	T (°C)	52.0	52.0	0
0.04	T (°C)	36.0	36.0	0
0.05	T (°C)	20.0	20.0	0

**Примечание:**

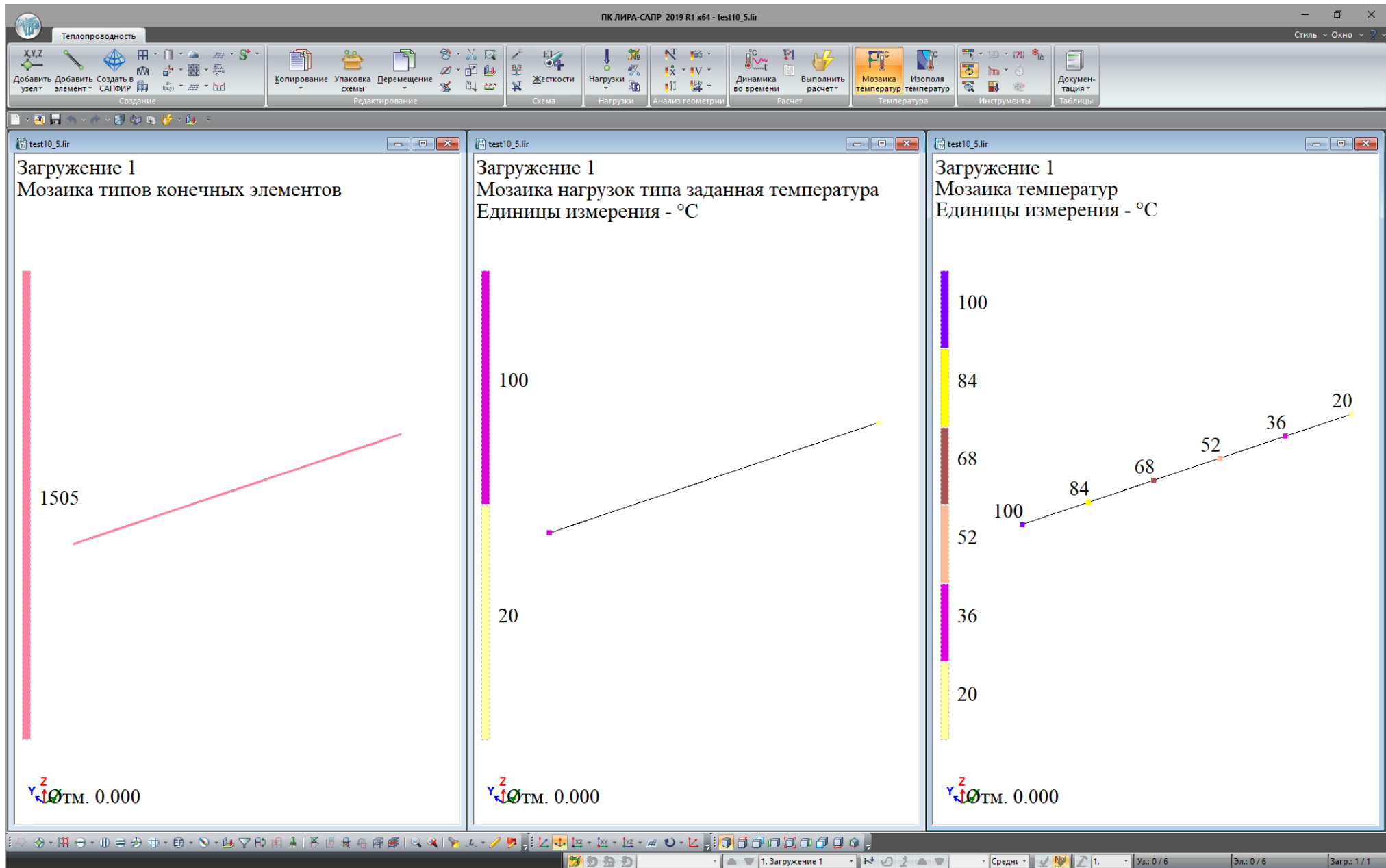
Для построения схемы использованы КЭ1505 – стержневой КЭ теплопроводности.

Количество узлов:6.

Количество элементов:6.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_5.zip

test10\_5



# Тест 6

## Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Аналитическое решение:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

### Геометрия:

$L=0.05\text{m}$

### Характеристики материалов:

$\lambda=0.75\text{Вт/м}^\circ\text{C}$

### Граничные условия:

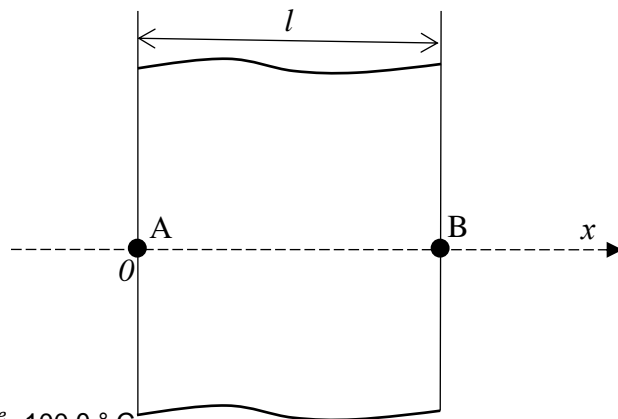
Конец т. А: заданная температура на элементы конвекции  $T_A^e=100,0^\circ\text{C}$ , коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_A=30,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$ .

Конец т. В: заданная температура  $T_B = 20,0^\circ\text{C}$ ,

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(x) = T_A^e - (R_f + \frac{x}{\lambda S})\phi$$

$$\phi = (T_A^e - T_B^e)/R_T$$



### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

х(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.00	T (°C)	73.33	73.33	0
0.01	T (°C)	62.67	62.67	0
0.02	T (°C)	52	52	0
0.03	T (°C)	41.33	41.33	0
0.04	T (°C)	30.67	30.67	0
0.05	T (°C)	20	20	0

### Примечание:

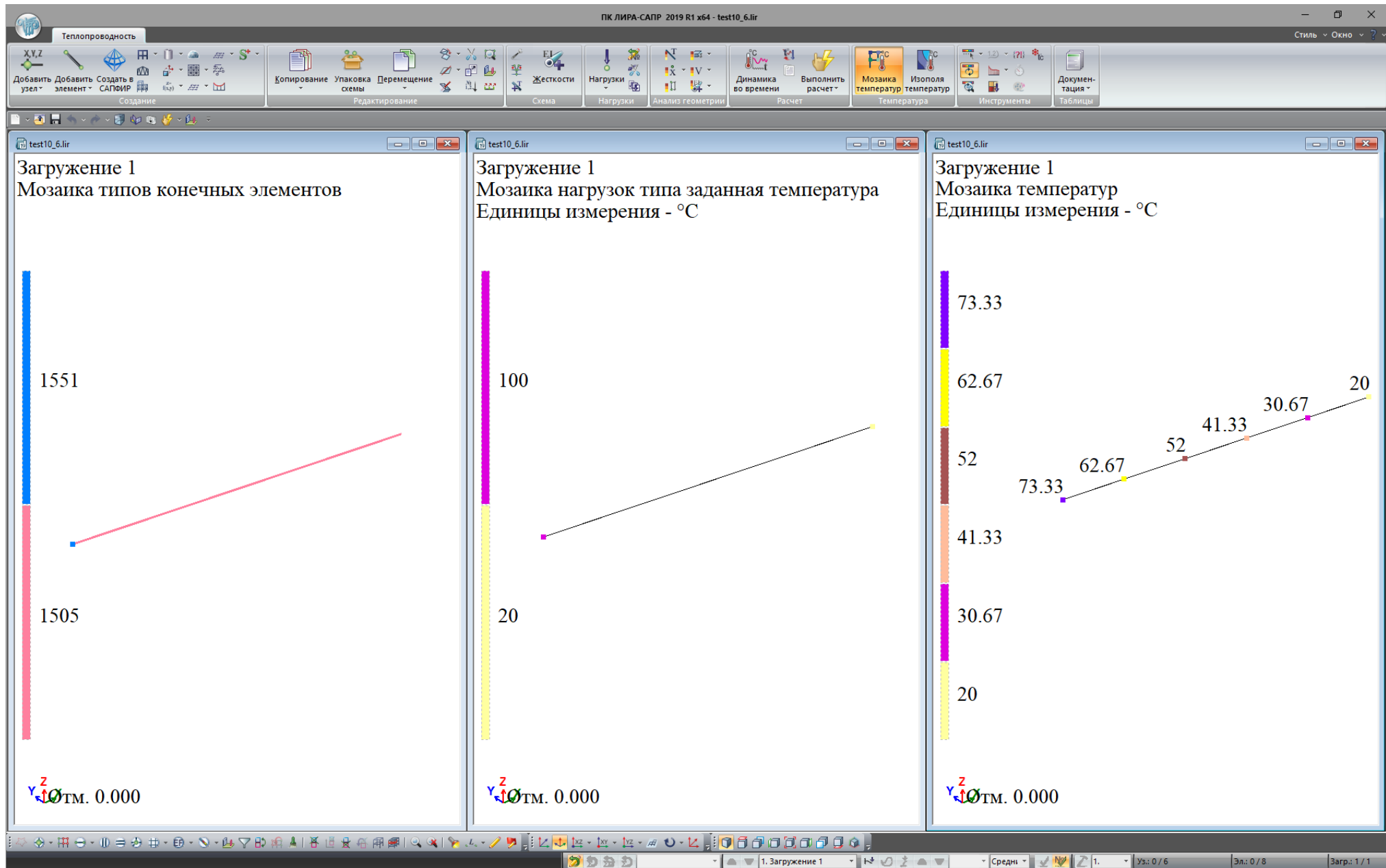
Для построения схемы использованы КЭ1505 – стержневой КЭ теплопроводности.

Количество узлов:6.

Количество элементов:8.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_6.zip

test10\_6

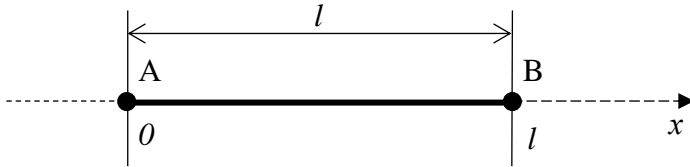


# Тест 7

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Аналитическое решение:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

**Геометрия:**



$L=0.4733\text{m}$

**Характеристики материалов:**

$\lambda=1\text{Вт/м}^\circ\text{C}$

**Граничные условия:**

Конвекция на концах А и Б:

Конец т. А: заданная температура на элементы конвекции  $T_A^e = -20,0^\circ\text{C}$ , коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_A = 20,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$ .

Конец т. В: заданная температура на элементы конвекции  $T_B^e = 500,0^\circ\text{C}$ , коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_B = 10,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ,

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(x) = T_A^e - (R_f + \frac{x}{\lambda S})\phi$$
$$\phi = (T_A^e - T_B^e)/R_T$$
$$\varphi = \phi/S = h_A(T_A^e - T_A) = h_B(T_A - T_B^e)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

Точка	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешость, %
A	$T_A(^{\circ}\text{C})$	21.71	21.71	0
B	$T_B(^{\circ}\text{C})$	416.58	416.57	0.0024

**Примечание:**

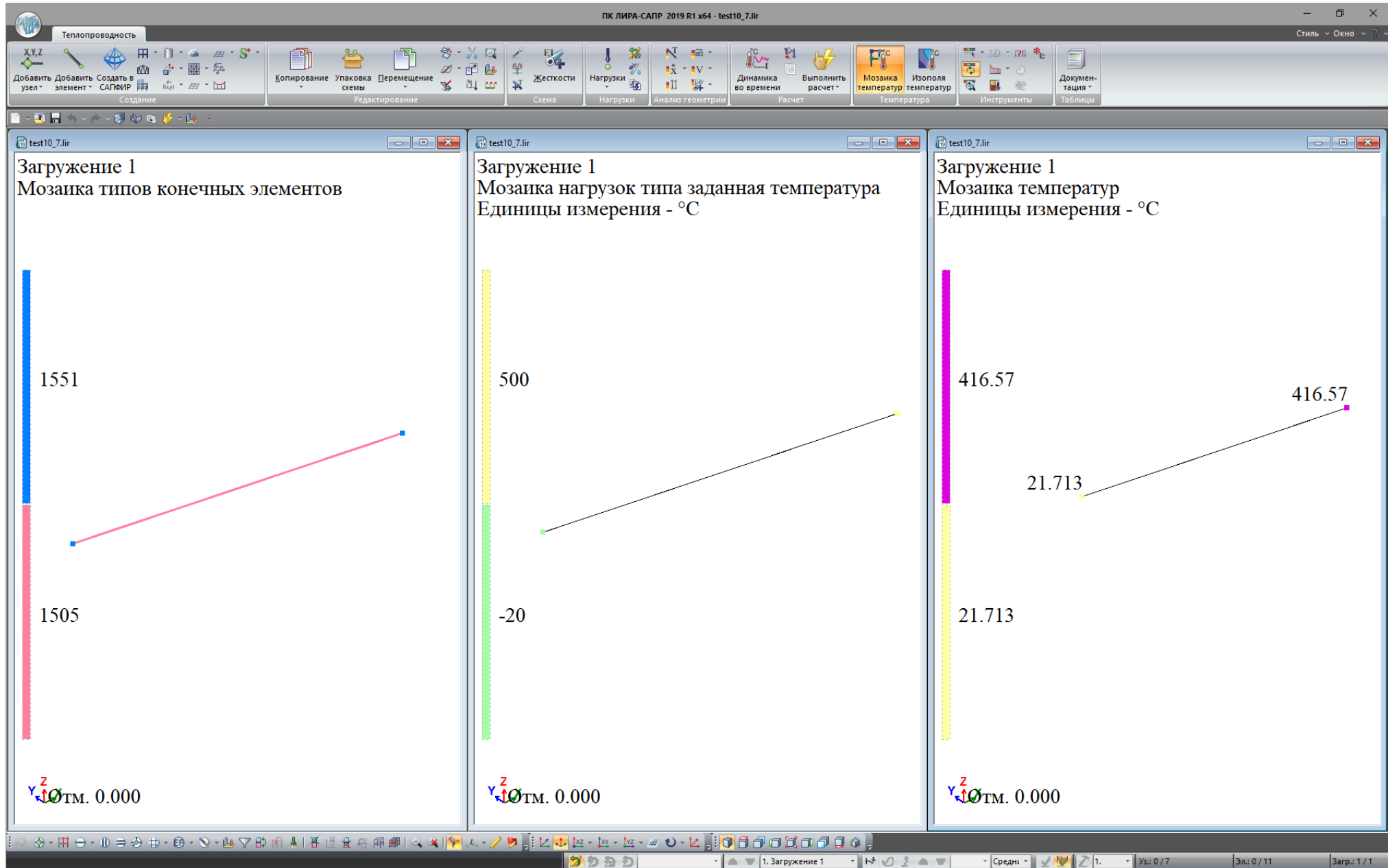
Для построения схемы использованы КЭ1505 – стержневой КЭ теплопроводности, 1551 — одноузловой КЭ конвективного теплообмена.

Количество узлов: 2.

Количество элементов: 3.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_7.zip

test10\_7



# Тест 8

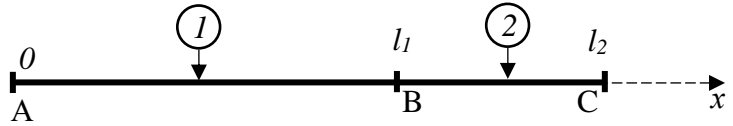
## Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Аналитическое решение:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

### Геометрия:

Стержень АВ:  $l_1=0.05\text{m}$   
Стержень ВС:  $l_2=0.02\text{m}$



### Характеристики материалов:

Стержень АВ:  $\lambda_1=0.75 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$   
Стержень ВС:  $\lambda_2=1 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$

### Граничные условия:

Конвекция на концах А и Б:

Конец т. А: заданная температура на элементы конвекции  $T_A^e = -20,0^\circ \text{С}$ , коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_A=20,0 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{С}$ .

Конец т. В: заданная температура на элементы конвекции  $T_C^e = 193,0^\circ \text{С}$ , коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_c = 10,0 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{С}$ ,

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:  
Стержень1:

$$T(x) = T_A^e - (R_f + \frac{x}{\lambda_1 S})\phi$$

Стержень2:

$$T(x) = T_A^e - (R_f + \frac{l_1}{\lambda_1 S} + R_f + \frac{x - l_1}{\lambda_2 S})\phi$$

$$\phi = (T_A^e - T_C^e)/R_T$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

Точка	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
А	$T_A(^{\circ}\text{C})$	25	25	0
В	$T_B(^{\circ}\text{C})$	85	85	0
С	$T_C(^{\circ}\text{C})$	103	103	0

### Примечание:

Для построения схемы использованы КЭ1505 – стержневой КЭ теплопроводности, 1551 — одноузловой КЭ конвективного теплообмена.

Количество узлов:3.

Количество элементов:4.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_8.zip

Теплопроводность

Создание: Добавить узел, Добавить элемент, Создать в САПФИР

Редактирование: Копирование, Упаковка схемы, Перемещение

Схема: Жесткости

Нагрузки: Нагрузки

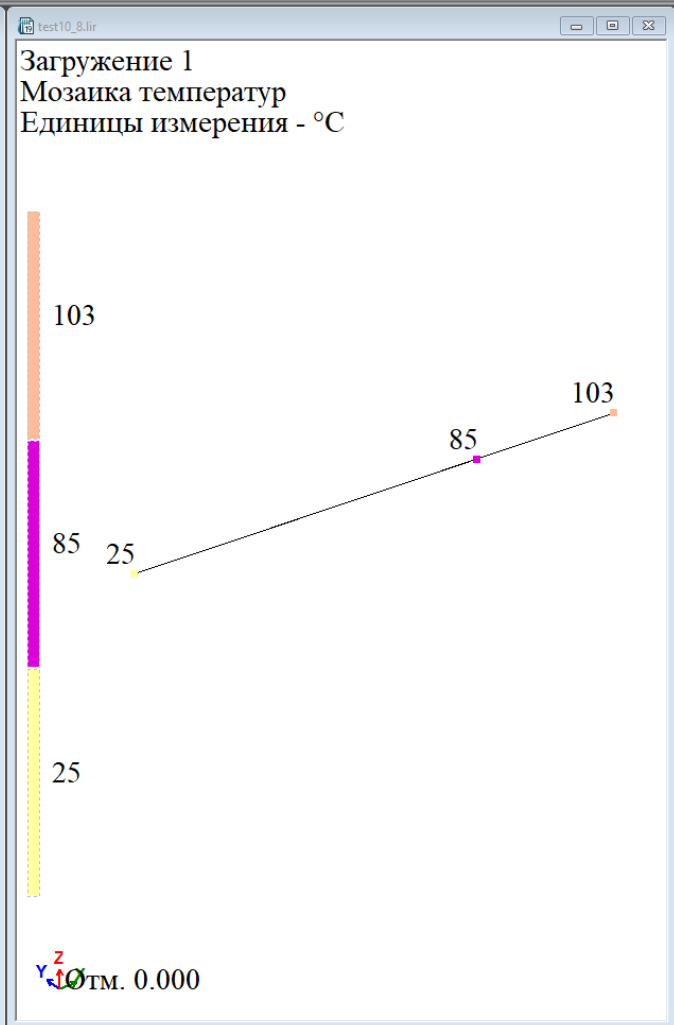
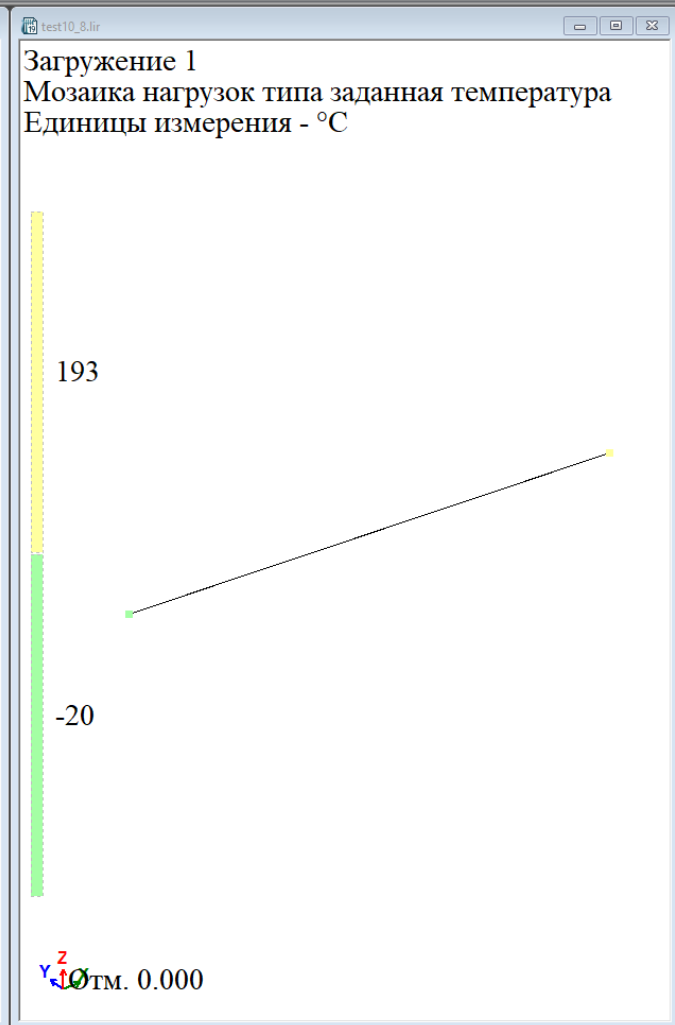
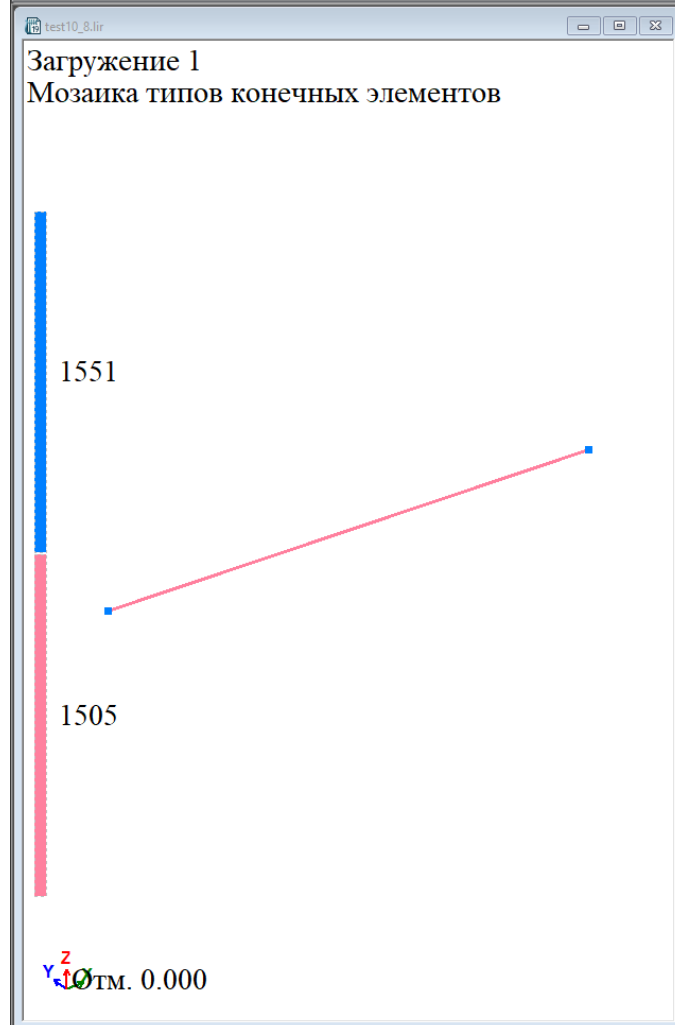
Анализ геометрии: Анализ геометрии

Расчет: Динамика во времени, Выполнить расчет

Температура: Мозаика температур, Изополя температур

Инструменты: Инструменты

Таблицы: Документация





# Тест 9

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

**Геометрия:**

$R_i=0.3\text{м}$   
 $R_e=0.35\text{м}$

**Характеристики материалов:**

$\lambda_1=1\text{ Вт/м }^\circ\text{C}$

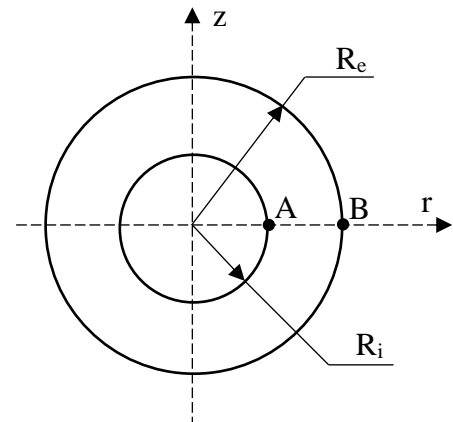
**Граничные условия:**

Внутренний радиус сферы:  
заданная температура  $T_i = 100^\circ\text{C}$ .

Внешний радиус сферы:  
заданная температура  $T_e = 20^\circ\text{C}$ .

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(r) = T_i - \frac{1}{4\pi\lambda_1} \left( \frac{1}{R_i} - \frac{1}{r} \right) \phi$$
$$\phi = (T_i - T_e) / R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

R(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	T (°C)	100.00	100.00	0
0.31	T (°C)	81.94	81.94	0
0.32	T (°C)	65.00	65.01	0.015
0.33	T (°C)	49.09	49.10	0.02
0.34	T (°C)	34.12	34.12	0
0.35	T (°C)	20.00	20.00	0

**Примечание:**

Для построения схемы использованы КЭ1514 – объемный шестиузловой КЭ теплопроводности, КЭ1516 – объемный восьмиузловой КЭ теплопроводности.

Количество узлов:1362.

Количество элементов:1250.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_9.zip

ПК ЛИРА-САПР 2019 R1 x64 - test10\_9.lir

Теплопроводность

Создание Редактирование Расчет Температура Инструменты Таблицы

Добавить узел Добавить элемент Создать в САПФИР

Копирование Упаковка схемы Перемещение

Жесткости Нагрузки Анализ геометрии

Динамика во времени Выполнить расчет

Мозаика температур Изополя температур

Документация

test10\_9.lir

test10\_9.lir

test10\_9.lir

### Загрузка 1

Мозаика типов конечных элементов

1516

1514

### Загрузка 1

Мозаика нагрузок типа заданная температура

Единицы измерения - °C

100

20

### Загрузка 1

Мозаика температур

Единицы измерения - °C

100.00

81.94

65.01

49.10

34.12

20.00

1. Загрузка 1

Средн

Уз: 0 / 1362 Эл: 0 / 1250 Загр.: 1 / 1

# Тест 10

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

## Геометрия:

$R_i=0.3\text{м}$   
 $R_e=0.35\text{м}$

## Характеристики материалов:

$\lambda_1=1\text{ Вт/м}^\circ\text{С}$

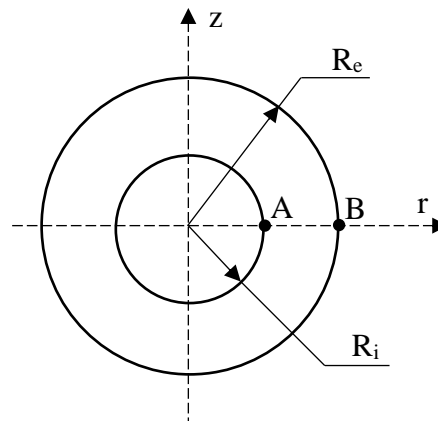
## Граничные условия:

Внутренний радиус сферы:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_i=30,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{С}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_i^e=100^\circ\text{С}$ .

Внешний радиус сферы:  
заданная температура  $T_e=20^\circ\text{С}$ .

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(r) = T_i^e - (R_f - \frac{1}{4\pi\lambda_1}(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{r}))\phi$$
$$\phi = (T_i^e - T_e^e)/R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

R(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	T (°C)	65.00	64.61	0.60
0.31	T (°C)	54.84	54.54	0.55
0.32	T (°C)	45.31	45.1	0.46
0.33	T (°C)	36.36	36.23	0.36
0.34	T (°C)	27.94	27.88	0.21
0.35	T (°C)	20	20	0.00

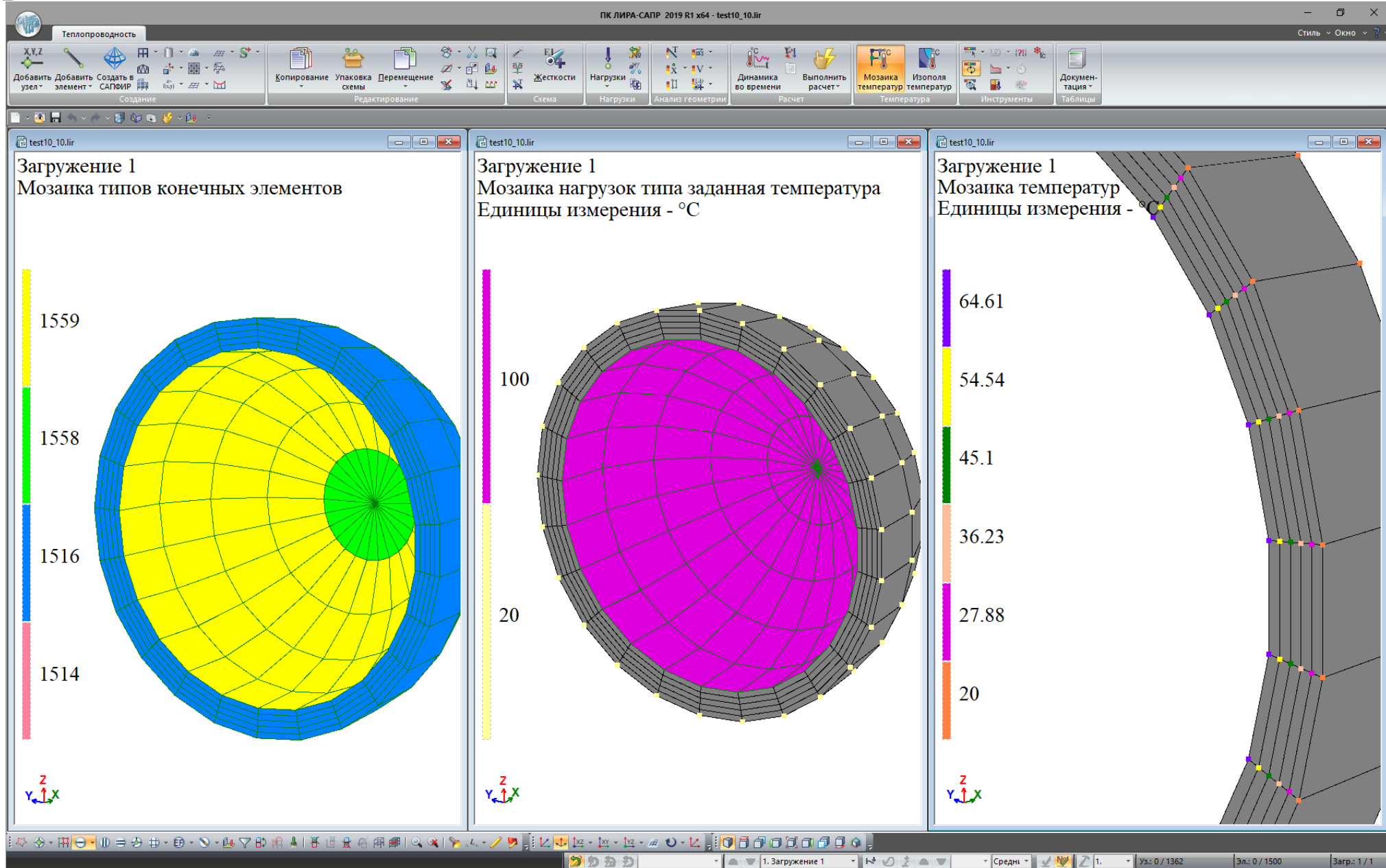
## Примечание:

Для построения схемы использованы КЭ1514 – объемный шестиузловой КЭ теплопроводности, КЭ1516 – объемный восьмиузловой КЭ теплопроводности, 1558 – треугольный КЭ конвективного теплообмена, 1559 – четырехугольный КЭ конвективного теплообмена.

Количество узлов:1362.

Количество элементов:1500.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_10.zip



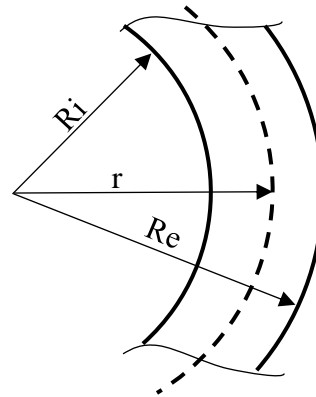
# Тест 11

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

## Геометрия:

$R_i=0.3\text{м}$   
 $R_e=0.392\text{м}$



## Характеристики материалов:

$\lambda=40\text{ Вт/м}^\circ\text{С}$

## Граничные условия:

Внутренний радиус сферы:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_i=150,0\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{С}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_i^e=500^\circ\text{С}$ .

Внешний радиус сферы:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_e=133,5\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{С}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_e^e=20^\circ\text{С}$ .

Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

$$T(r) = T_i^e - (R_f - \frac{1}{4\pi\lambda_1}(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{r}))\phi$$
$$\phi = (T_i^e - T_e^e)/R_T$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

R(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	$T_i$ ( $^\circ\text{С}$ )	250.28	249.6	0.27
0.392	$T_e$ ( $^\circ\text{С}$ )	184.34	184.9	0.30

## Примечание:

Для построения схемы использованы КЭ1514 – объемный шестиузловой КЭ теплопроводности, КЭ1516 – объемный восьмиузловой КЭ теплопроводности, 1558 – треугольный КЭ конвективного теплообмена, 1559 – четырехугольный КЭ конвективного теплообмена.

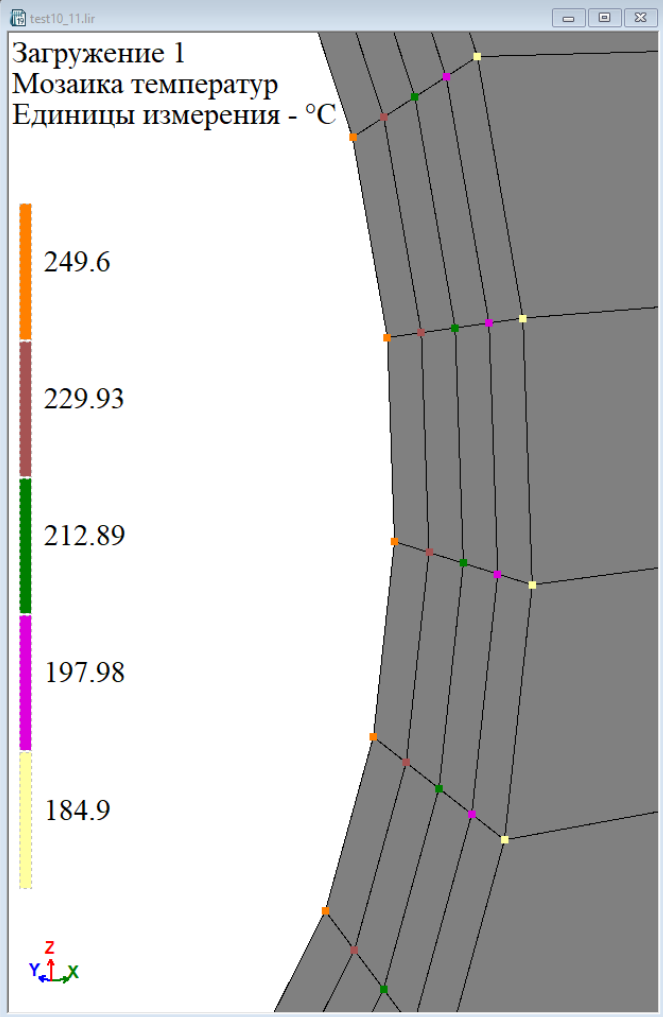
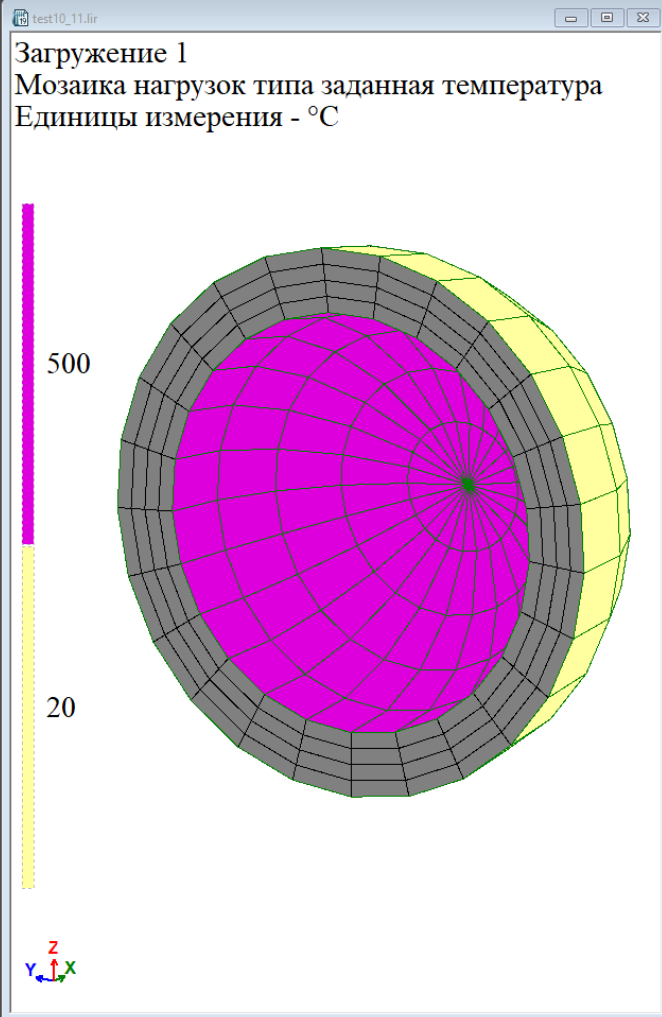
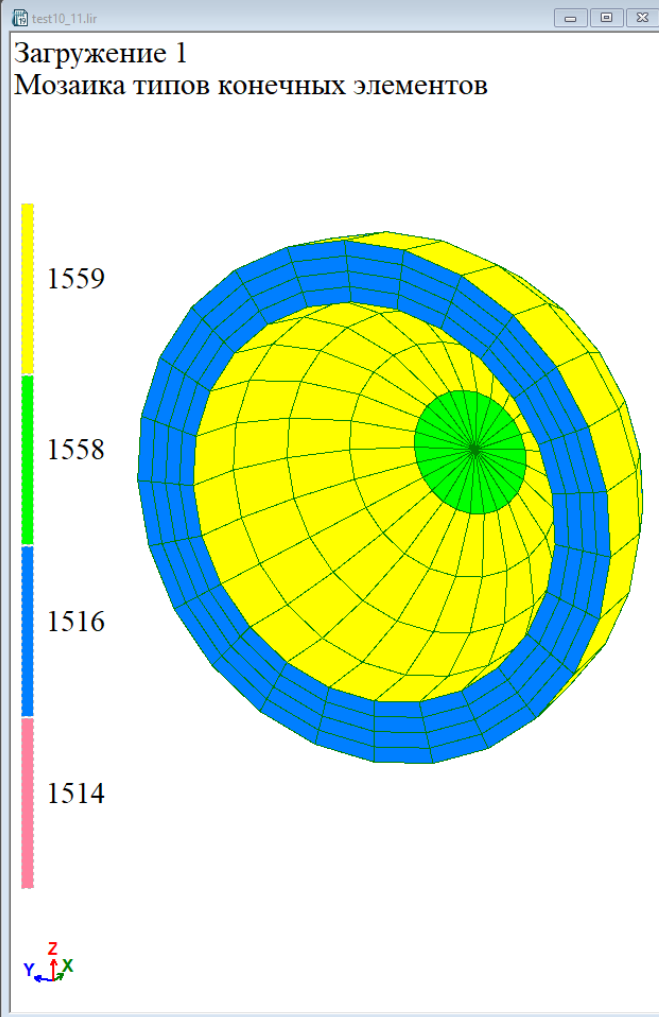
Количество узлов:1135.

Количество элементов:1500.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_11.zip

Теплопроводность

Добавить узел X,Y,Z | Добавить элемент | Создать в САПФИР | Копирование | Упаковка схемы | Перемещение | Жесткости | Нагрузки | Анализ геометрии | Динамика во времени | Выполнить расчет | Мозаика температур | Изополя температур | Инструменты | Документация | Таблицы



# Тест 12

**Тип анализа:** стационарный термический.

**Источник:** Société Française des Mécaniciens, Commission Validation des progiciels de calcul de Structures, groupe de travail Thermique (2D et 3D) et thermoélasticité, Pan's, 1989.

## Геометрия:

$R_i=0.3\text{м}$   
 $R_m=0.35\text{м}$   
 $R_e=0.37\text{м}$

## Характеристики материалов:

$\lambda_1=40 \text{ Вт/м}^\circ \text{С}$   
 $\lambda_2=20 \text{ Вт/м}^\circ \text{С}$ .

## Граничные условия:

Внутренний радиус сферы:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_i=150,0 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{С}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_i^e=70^\circ\text{С}$ .

Внешний радиус сферы:  
коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_e=200,0 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ \text{С}$ ,  
заданная температура на элементы конвекции  $T_e^e=-9^\circ\text{С}$ .

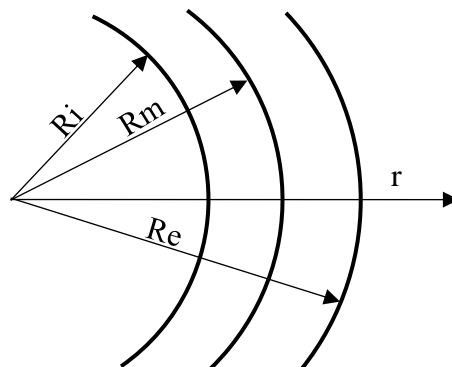
Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

1-й материал:

$$T(r) = T_i^e - (R_f + \frac{1}{4\pi\lambda_1}(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{r}))\phi$$

2-й материал:

$$T(r) = T_i^e - (R_f + \frac{1}{4\pi\lambda_1}(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_m}) + \frac{1}{4\pi\lambda_2}(\frac{1}{R_m} - \frac{1}{r}))\phi$$
$$\phi = (T_i^e - T_e^e)/R_T$$



## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

R(м)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %
0.30	$T_i$ ( $^\circ\text{С}$ )	25.06	24.93	0.52
0.35	$T_m$ ( $^\circ\text{С}$ )	17.84	17.84	0.06
0.37	$T_e$ ( $^\circ\text{С}$ )	13.16	13.24	0.53

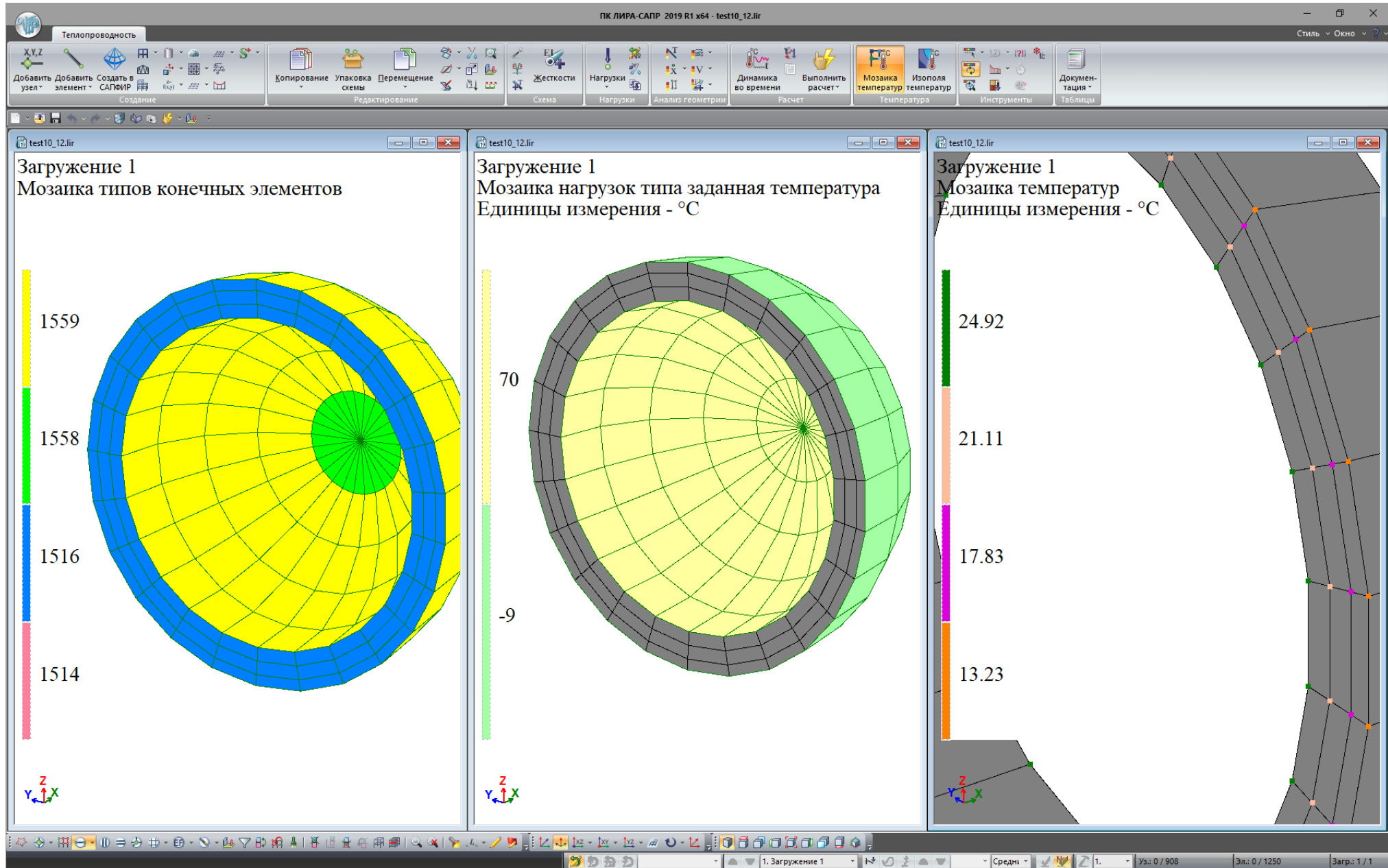
### Примечание:

Для построения схемы использованы КЭ1514 – объемный шестиузловой КЭ теплопроводности, КЭ1516 – объемный восьмиузловой КЭ теплопроводности, 1558 – треугольный КЭ конвективного теплообмена, 1559 – четырехугольный КЭ конвективного теплообмена.

Количество узлов:908.

Количество элементов:1250.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_12.zip





# Тест 13

**Тип анализа:** нестационарный термический.

**Источник:** W.H.McAdams, Transmission de la chaleur, Paris, Dunod, 1961.

**Геометрия:**

$D=0.2\text{м}$

**Характеристики материалов:**

$\lambda=48.822\text{ Вт/м }^{\circ}\text{C}$

$C_p=669\text{ Дж/кг }^{\circ}\text{C}$

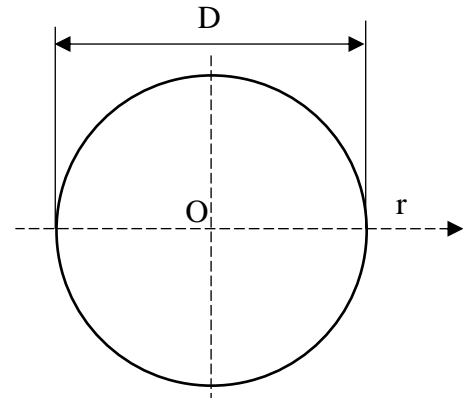
$\rho=7200\text{ кг/м}^3$

**Граничные условия:**

коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_e=232,5\text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

Температура окружающей среды:  $T^e = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Начальная температура:  $T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

- расчет коэффициентов.
- значения по диаграмме Герни-Лурье.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

Время(с)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %	
600	Температура на поверхности	$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	461	493	6.94
800		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	550	577	4.91
1000		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	637	647	1.57
1200		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	686	706	2.92
1400		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	735	756	2.86
1600		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	774	798	3.10
1800		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	813	834	2.58
2200		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	873	888	1.72
2600		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	910	927	1.87
3000		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	936	954	1.92
3400		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	951	973	2.31
3800		$T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	970	987	1.75
600		Температура в центре	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	314	360
800	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		412	465	12.86
1000	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		510	553	8.43
1200	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		588	628	6.80
1400	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		657	690	5.02
1600	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		706	742	5.10
1800	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		755	787	4.24
2200	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		828	855	3.26
2600	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		880	903	2.61
3000	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		917	937	2.18
3400	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		941	962	2.23
3800	$T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$		959	979	2.09

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:**

Время(с)	Искомая величина	Результаты расчета (ANSYS*)	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %		
600	Температура на поверхности	T <sub>1</sub> (°C)	472	493	4.45	
800		T <sub>1</sub> (°C)	556	577	3.78	
1000		T <sub>1</sub> (°C)	627	647	3.19	
1200		T <sub>1</sub> (°C)	686	706	2.92	
1400		T <sub>1</sub> (°C)	736	756	2.72	
1600		T <sub>1</sub> (°C)	778	798	2.57	
1800		T <sub>1</sub> (°C)	814	834	2.46	
2200		T <sub>1</sub> (°C)	868	888	2.30	
2600		T <sub>1</sub> (°C)	907	927	2.21	
3000		T <sub>1</sub> (°C)	934	954	2.14	
3400		T <sub>1</sub> (°C)	954	973	1.99	
3800		T <sub>1</sub> (°C)	967	987	2.07	
600		Температура в центре	T <sub>2</sub> (°C)	350	360	2.86
800			T <sub>2</sub> (°C)	454	465	2.42
1000	T <sub>2</sub> (°C)		541	553	2.22	
1200	T <sub>2</sub> (°C)		614	628	2.28	
1400	T <sub>2</sub> (°C)		676	690	2.07	
1600	T <sub>2</sub> (°C)		727	742	2.06	
1800	T <sub>2</sub> (°C)		771	787	2.08	
2200	T <sub>2</sub> (°C)		838	855	2.03	
2600	T <sub>2</sub> (°C)		886	903	1.92	
3000	T <sub>2</sub> (°C)		920	937	1.85	
3400	T <sub>2</sub> (°C)		942	962	2.12	
3800	T <sub>2</sub> (°C)		960	979	1.98	

**Примечание:**

Для построения схемы использованы КЭ1509 – четырехугольные КЭ теплопроводности, КЭ1508 – треугольные КЭ теплопроводности, 1555 — двухузловой КЭ конвективного теплообмена.

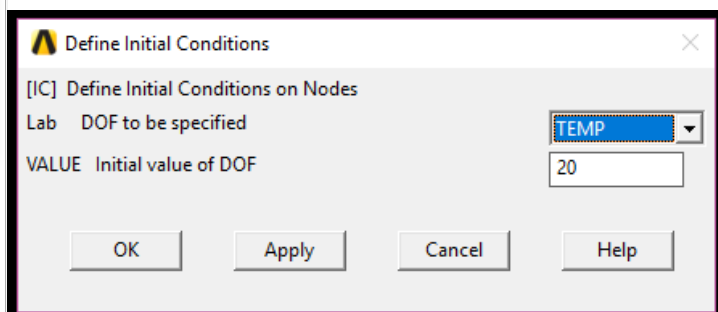
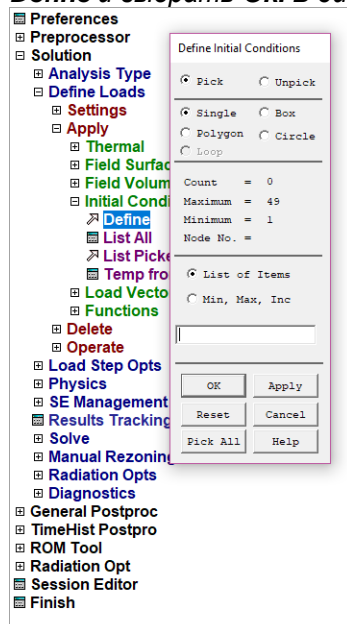
Количество узлов:251.

Количество элементов:523.

\*Чтобы правильно посчитать задачу в ANSYS нужно в файлах \*. db заново задать начальные условия (Initial Condition), которые равны T<sub>0</sub> = 20 ° C.

Для этого нужно:

Зайти на вкладку **Solution**, потом выбрать **Define Loads**, затем **Apply**, затем **Initial Condition**, затем **Define** и выбрать **Ok**. В диалоговом окне задать **20 градусов** и выбрать **TEMP** (температура).



Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019 и ANSYS: test10\_13.zip

ПК ЛИРА-САПР 2019 R1 x64 - test10\_13.lir

Теплопроводность

Добавить узел Добавить элемент Создать в САПФИР

Копирование Упаковка Перемещение Редактирование

Жесткости Нагрузки Анализ геометрии

Динамика во времени Выполнить расчет

Мозаика температур Изополя температур

Инструменты Таблицы

Стиль Окно

---

test10\_13.lir

Загрузка 1  
Мозаика типов конечных элементов

1555

1509

1508

test10\_13.lir

Загрузка 1  
Мозаика нагрузок типа заданная температура  
Единицы измерения - °C

20.0

test10\_13.lir

Загрузка 5  
Мозаика нагрузок типа заданная температура  
Единицы измерения - °C

1000.0

Динамика во времени - нагрузка

1.000 1.000

Динамика во времени

Динамика во времени из статических нагрузок

Сводная таблица:

№ дин. з...	№ стат. ...
3	5

Стат. загрузка № загр. 5

Динам. загрузка № загр. 3

Закон преобразования

1-Ломан. с произв. шагом

2-Синусоидальный

4-Ломаная с равн. шагом

15-Тепловое излучение

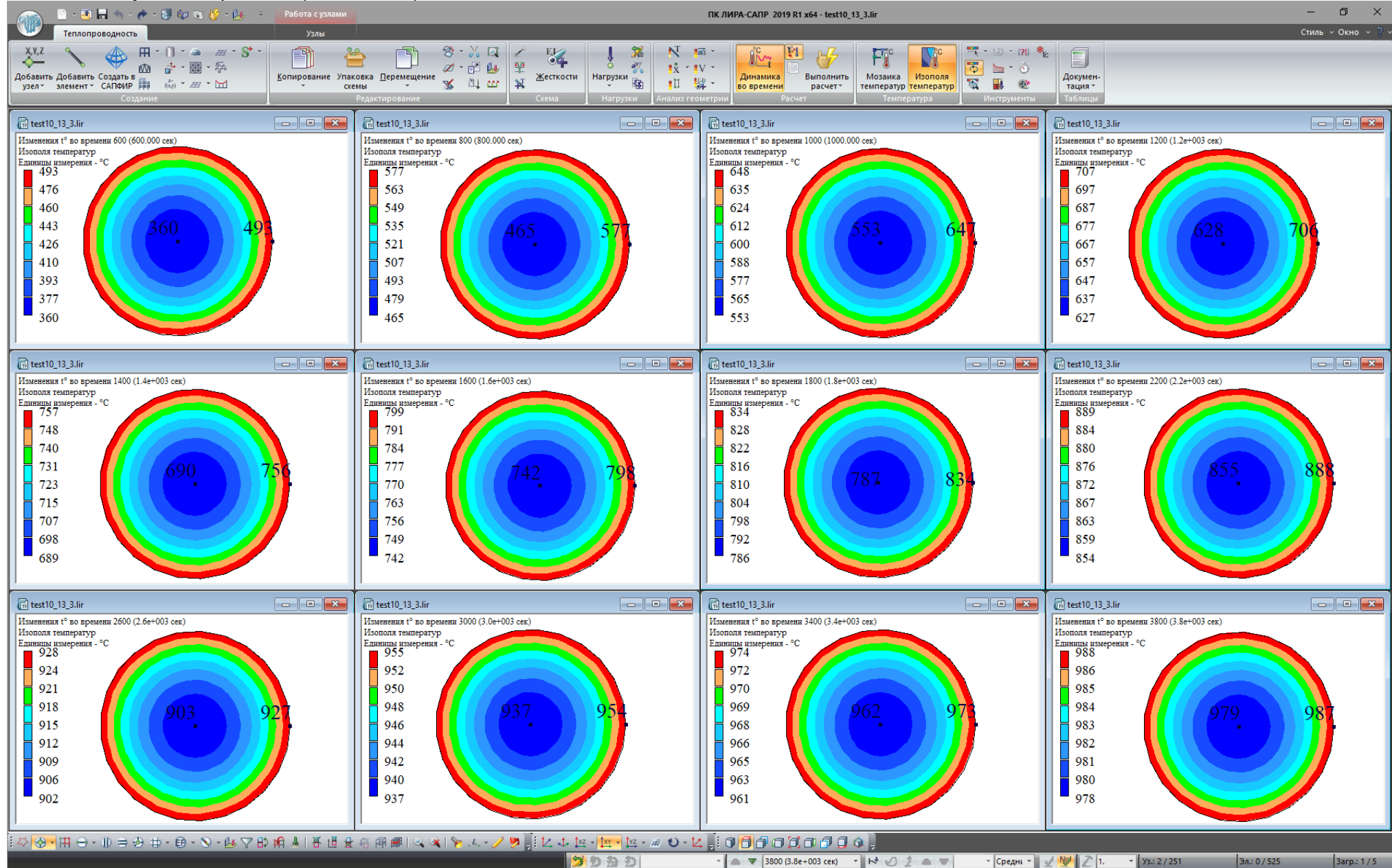
Параметры закона Начальн. параметры

Кол-во точек 14

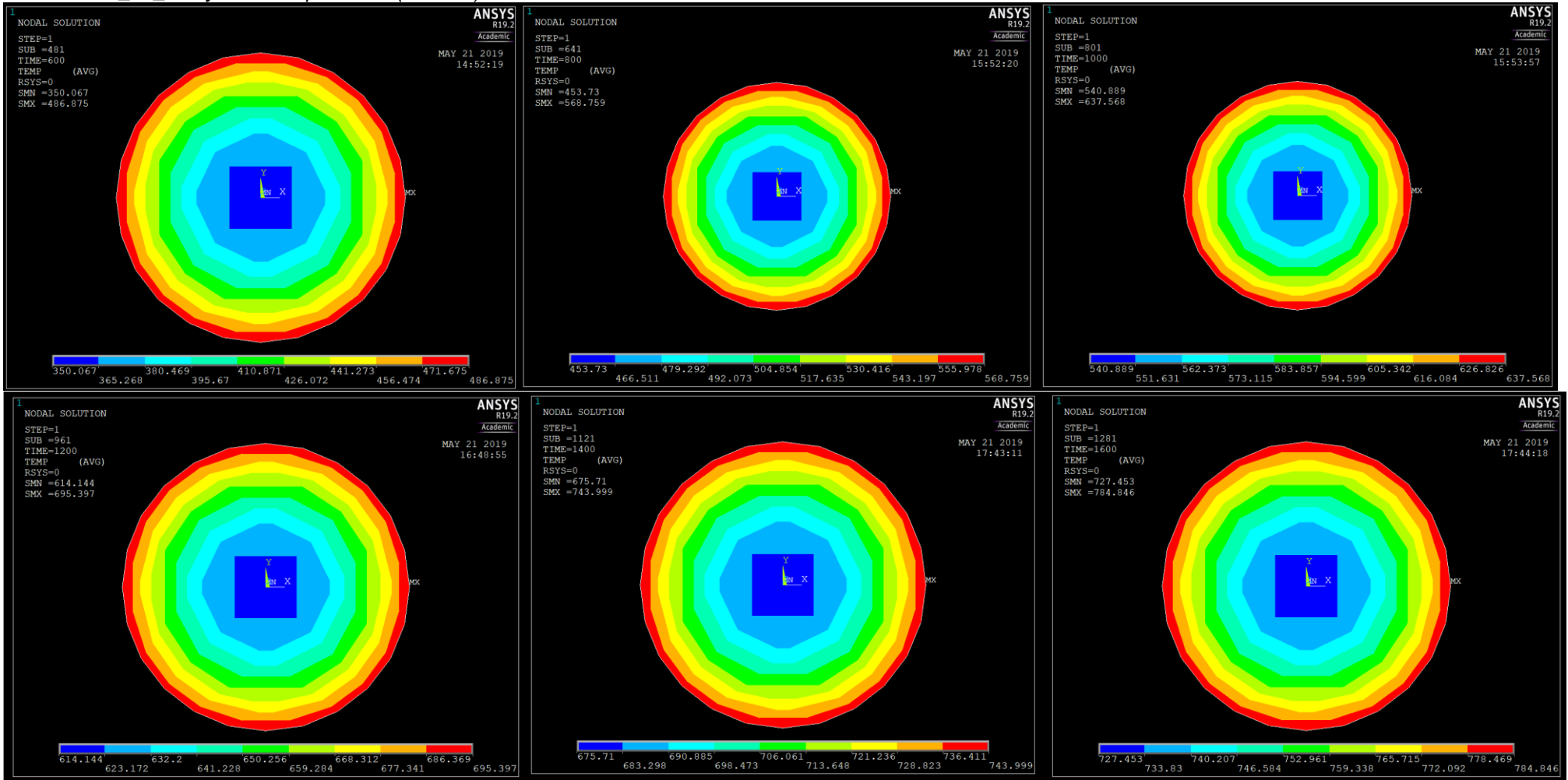
t [с]	z [0]
1	1
600	1
800	1
1000	1
1200	1
1400	1
1600	1
1800	1
2200	1
2600	1
3000	1

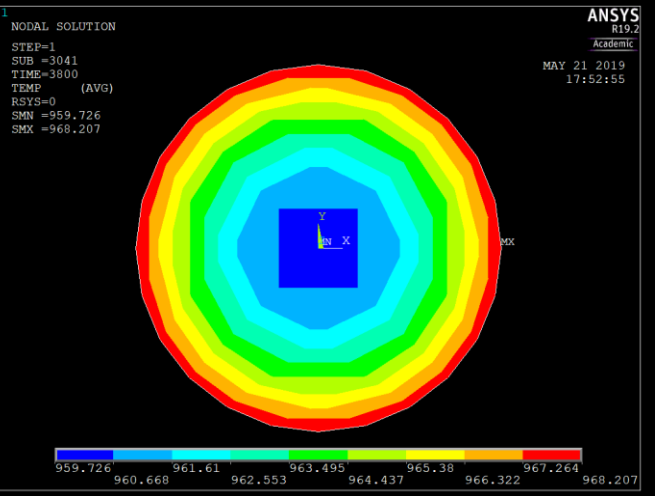
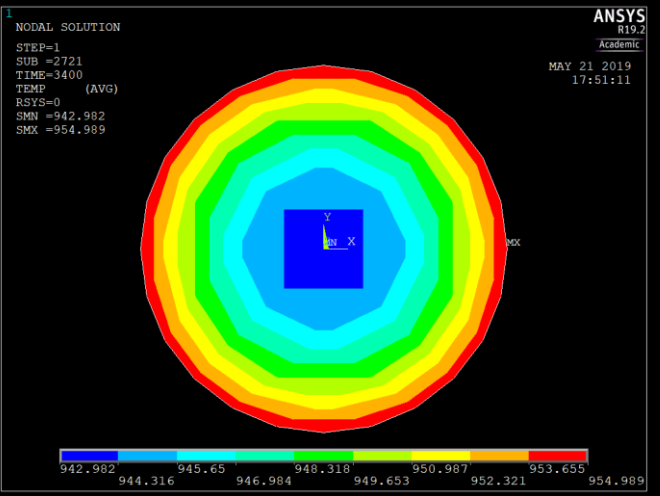
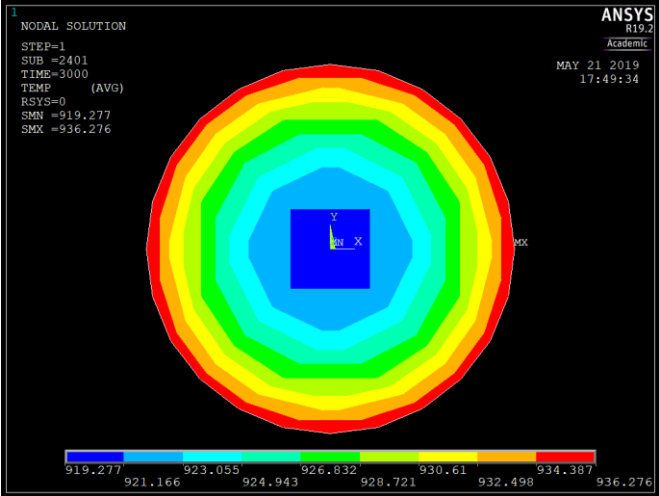
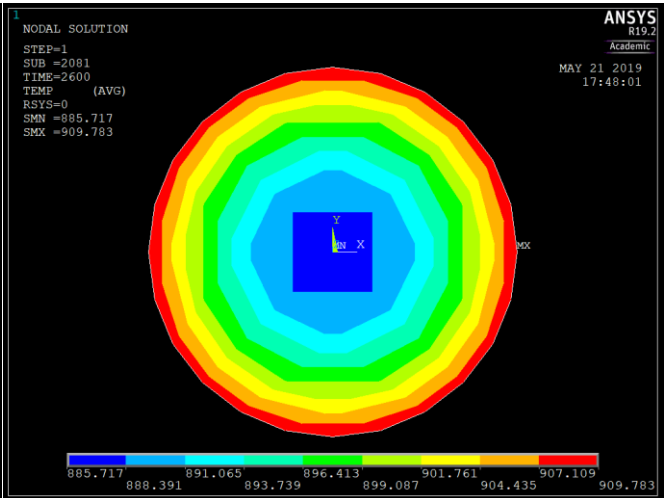
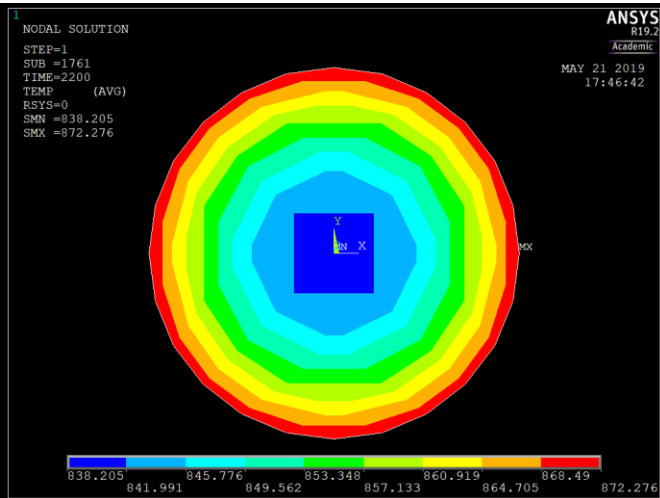
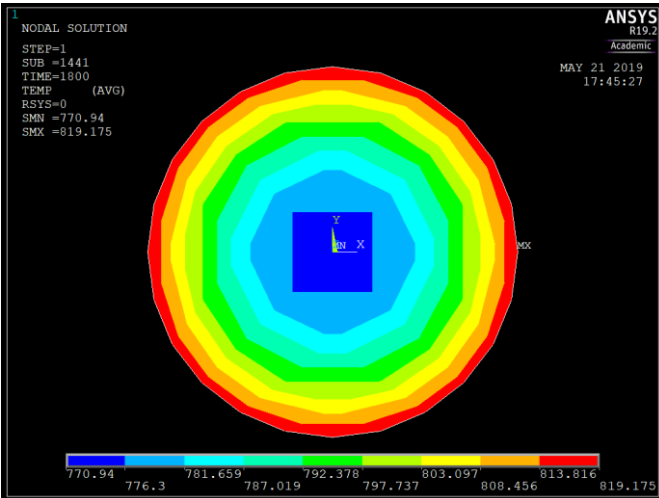
Эл.: 0 / 525    Загр.: 5 / 5

test10\_13 Результаты расчета (ЛИРА-САПР)



test10\_13\_ Результаты расчета (ANSYS)





# Тест 14

**Тип анализа:** нестационарный термический.

**Источник:** W.H.McAdams, Transmission de la chaleur, Paris, Dunod, 1961.

**Геометрия:**

$D=0.2\text{м}$

**Характеристики материалов:**

$\lambda=48.822\text{ Вт/м}^\circ\text{С}$

$C_p=669\text{ Дж/кг}^\circ\text{С}$

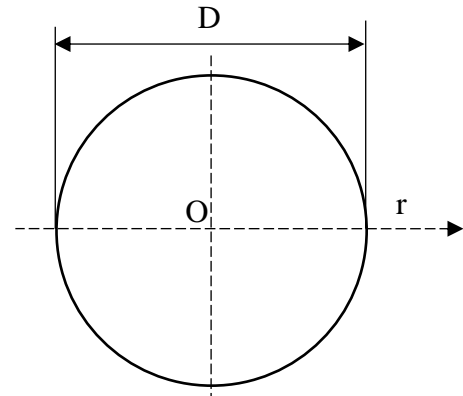
$\rho=7200\text{ кг/м}^3$

**Граничные условия:**

коэффициент конвективной теплоотдачи  $h_e=232,5\text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{С}$ ,

Температура окружающей среды:  $T^\infty = 1000\text{ }^\circ\text{С}$ .

Начальная температура:  $T_0 = 20\text{ }^\circ\text{С}$ .



Метод расчета, используемый для получения эталонного решения:

- расчет коэффициентов.
- значения по диаграмме Герни-Лурье.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

Время(с)	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчета (ЛИРА-САПР)	Погрешность, %	
400	Температура на поверхности	$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	461	481	4.34
600		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	608	604	0.66
800		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	696	697	0.14
1000		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	774	768	0.78
1200		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	828	823	0.60
1400		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	868	864	0.46
1600		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	902	896	0.67
1800		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	923	921	0.22
2000		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	942	939	0.32
2200		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	956	954	0.21
2400		$T_1\text{ (}^\circ\text{С)}$	962	965	0.31
400		Температура в центре	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$	334	329
600	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		500	487	2.60
800	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		618	607	1.78
1000	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		706	700	0.85
1200	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		774	770	0.52
1400	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		828	824	0.48
1600	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		872	866	0.69
1800	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		902	897	0.55
2000	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		923	921	0.22
2200	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		942	940	0.21
2400	$T_2\text{ (}^\circ\text{С)}$		956	954	0.21

**Примечание:**

Для построения схемы использованы КЭ1512 – объемный КЭ теплопроводности в форме тетраэдра, 1558 – треугольный КЭ конвективного теплообмена

Количество узлов: 186.

Количество элементов: 882.

Файлы исходных данных для ПК ЛИРА-САПР 2019: test10\_14.zip

ПК ЛИРА-САПР 2019 R1 x64 - test10\_14.lir

Теплопроводность

Стиль Окно ?

Добавить элемент Добавить элемент САПФИР Создать в САПФИР

Копирование Упаковка схемы Перемещение

Жесткости Нагрузки

Анализ геометрии

Динамика во времени Выполнить расчет

Мозаика температур Изопола температур

Документация Таблицы

test10\_14.lir

Загрузка 1  
Мозаика типов конечных элементов

1558

1512

test10\_14.lir

Загрузка 5  
Мозаика нагрузок типа заданная температура  
Единицы измерения - °C

1000

Динамика во времени из статических нагрузок

Сводная таблица:

№ дин. з...	№ стат. ...
3	5

Стат. загрузка № загр. 5

Динам. загрузка № загр. 3

Закон преобразования

- 1-Линейн. с произв. шагом
- 2-Синусоидальный
- 4-Ломаная с равн. шагом
- 15-Тепловое излучение

Параметры закона

Начальн. параметры

Кол-во точек: 14

t (t)	z (t)
1	1
600	1
800	1
1000	1
1200	1
1400	1
1600	1
1800	1
2200	1
2600	1
3000	1

Динамика во времени - нагрузка

1.000

1.000

x1

Динамика во времени

Уз.: 0 / 186 Эл.: 0 / 882 Загр.: 5 / 5



