



Расчет температурных полей нагрева термопластических материалов на вакуумном станке Simple-1120

Направление: 15.03.03 - Прикладная механика

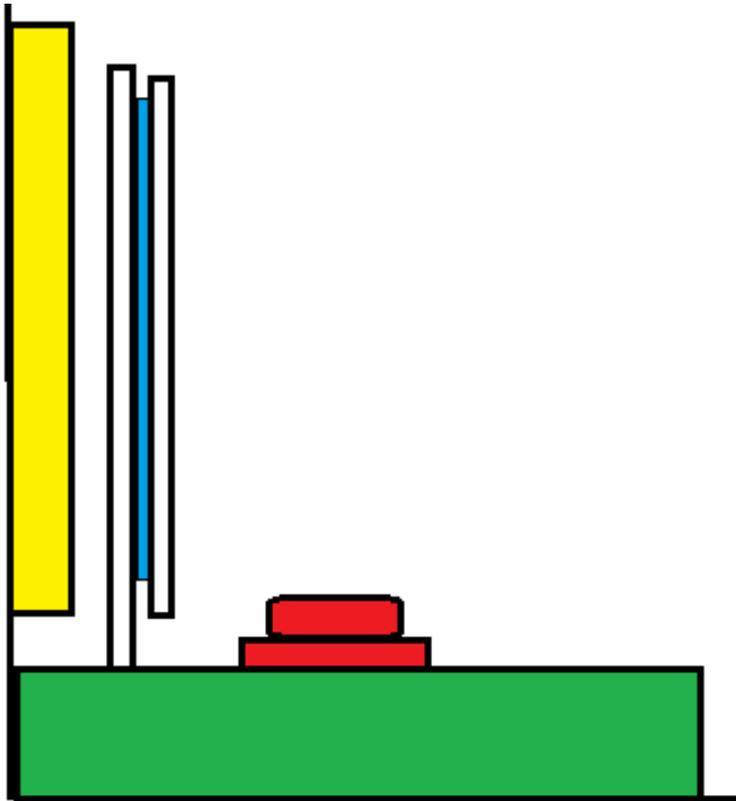
Выполнил студент группы 43602/3 Колесова С.А.

Руководитель, ведущий инженер УНИЛ
«Вычислительная механика» ИПММ Ховайко М. В.

Проблематика

Перегрев листов влечет за собой:

- Дефект образования пузырей на грани, обращенной к нагревателю;
- Прилипание матрицы к форме.



Вакуум-формовочная машина Симпл-1120



Система
нагревательных
элементов

Форма

Рабочий стол

Вакуумный насос

Прижимная рама



1. Установить деревянную форму на рабочий стол;
2. Установить лист в раму;
3. Поднять раму в вертикальное положение до упора;
4. Нагреть лист в вертикальном положении до равномерного размягчения пластика на все поле;
5. При достижении пластиком размягченного состояния опустить раму в горизонтальное положение;
6. Закрепить прижимную раму к рабочему столу креплениями.
7. Включить вакуумный насос;
8. Охладить материал;
9. Отделить отформованное изделие от матрицы;
10. Для формования следующего листа повторить шаги 2-8.

Цели и задачи исследования

- **Цель:**

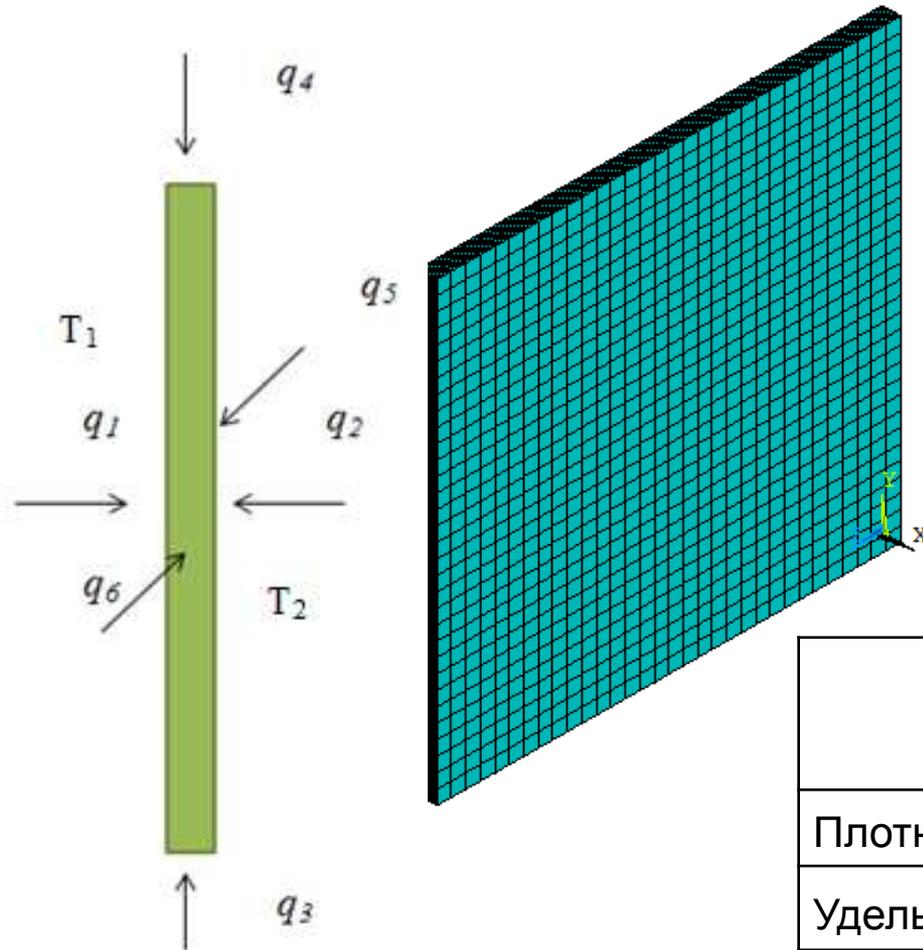
Найти наиболее рациональное время нагрева листа

- **Задачи:**

- Определить тепловое состояние листа с использованием МКЭ;
- Исследовать различные условия нагрева листов;
- Исследовать зависимости температуры листов от времени;
- Разработать рекомендации по времени нагрева листов для начала формовки.

Наиболее рациональное время нагрева – промежуток времени, когда средняя температура по листу достигает значения T_p , а максимальная температура не превышает $T_{кр}$.

Нестационарная задача в ANSYS Mechanical APDL



$$q_1 = -\frac{dT}{dx} = h T_1 \Big|_{x=0} \quad q_3 = \frac{dT}{dy} = -h T_2 \Big|_{y=0}$$

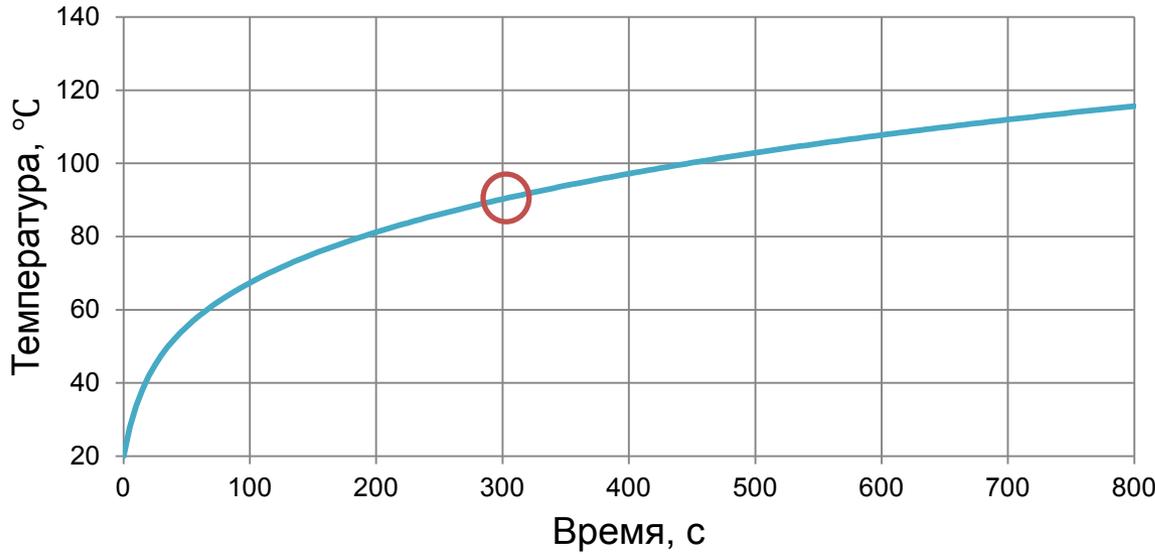
$$q_2 = \frac{dT}{dx} = -h T_2 \Big|_{x=0.02} \quad q_4 = -\frac{dT}{dy} = h T_2 \Big|_{y=0.5}$$

$$T_L \Big|_{t=0} = t_0 \quad q_5 = -\frac{dT}{dz} = h T_2 \Big|_{z=0.5}$$

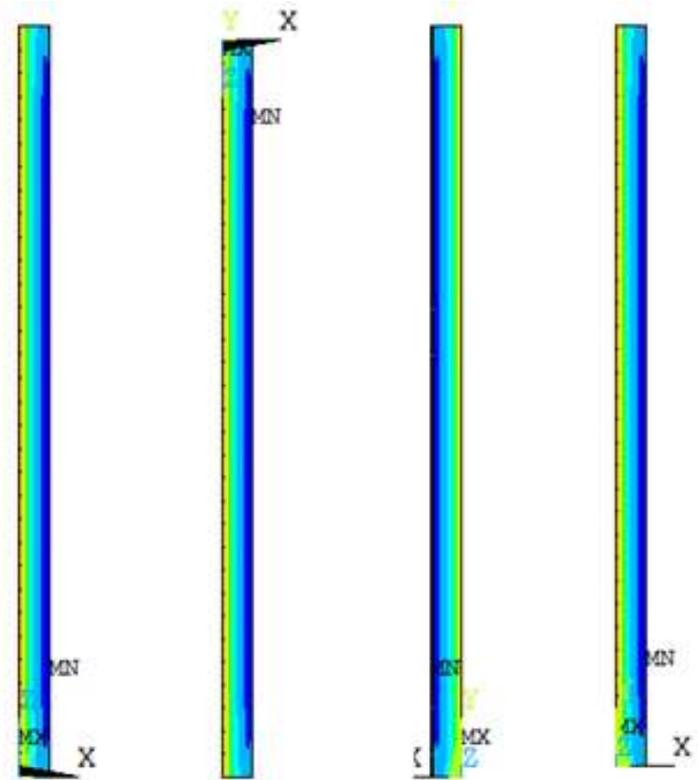
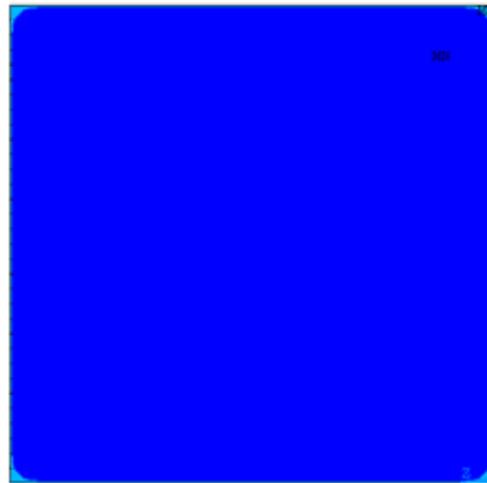
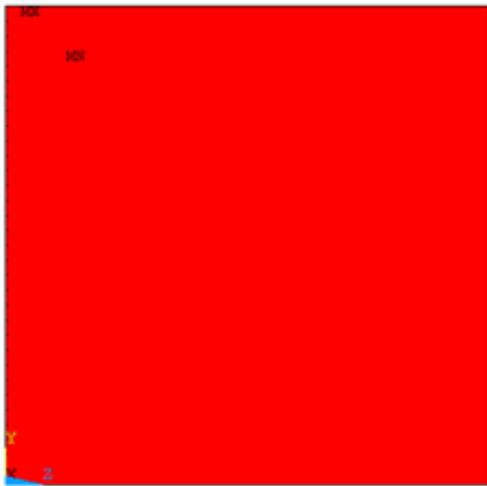
$$q_6 = \frac{dT}{dz} = -h T_2 \Big|_{z=0}$$

Параметры	Материал	
	ABS	ПНД
Плотность, кг/м ³	1045	955
Удельная теплоемкость, Дж/м ³ ·°C	1400	1780
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°C	0,22	0,429
Температура размягчения (T _p), °C	90	80
Критическая температура (T _{кр}), °C	130	125

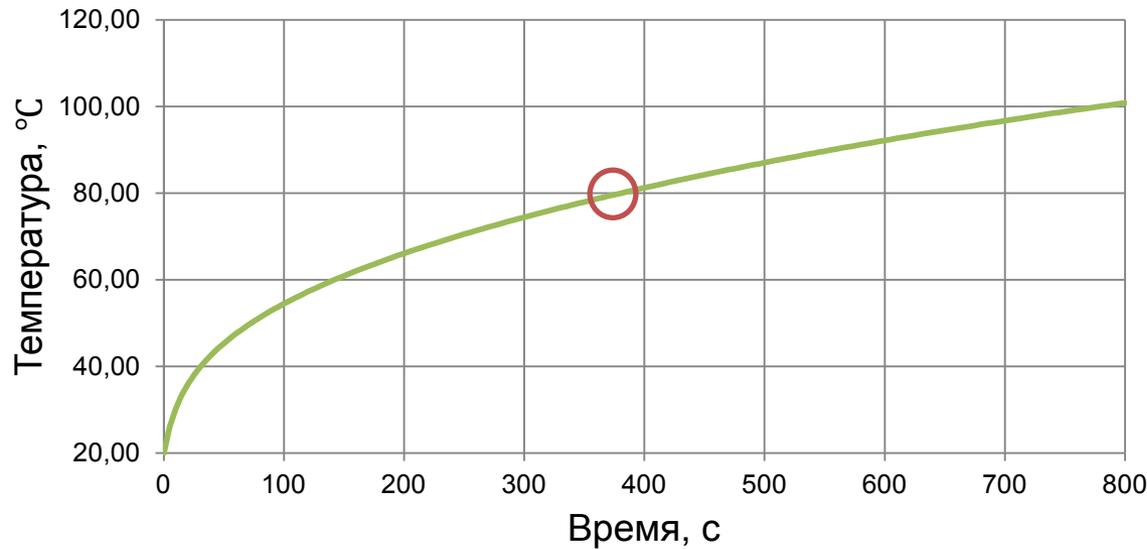
Температура в середине грани 1, ABS



Температура размягчения (T_p)
достигается в момент времени
 $t = 300$ с.

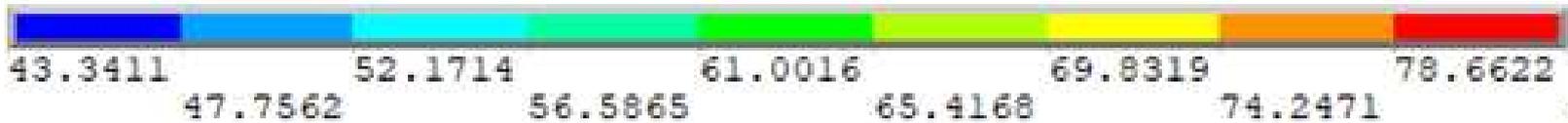
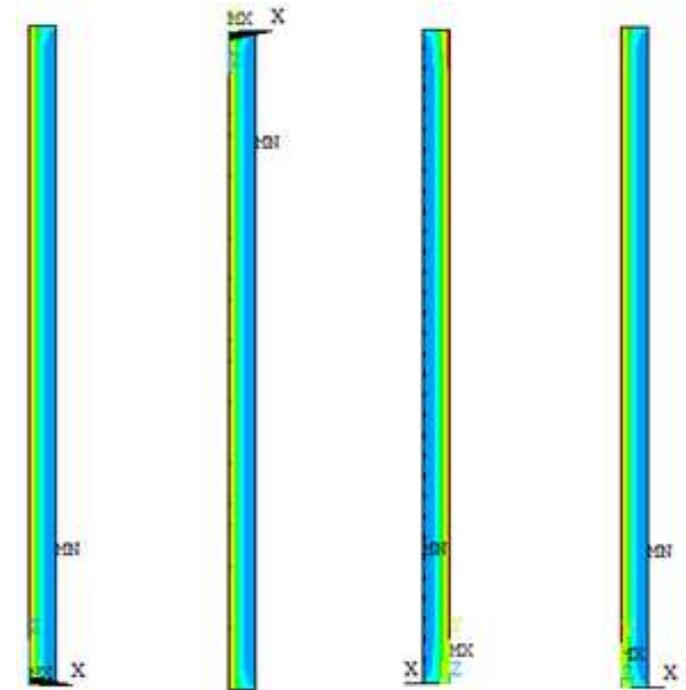
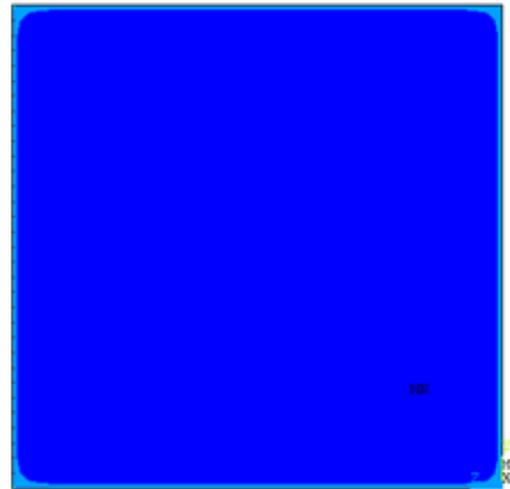
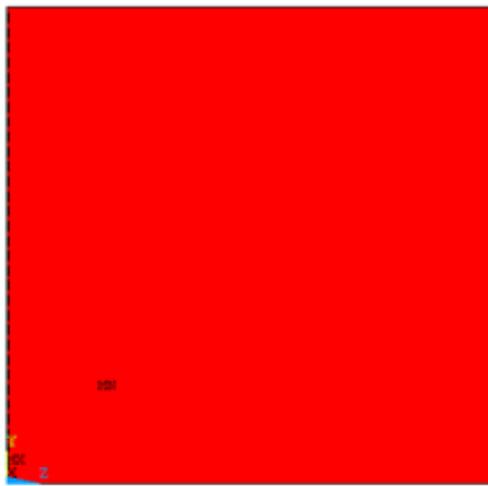


Температура в середине грани 1, ПНД

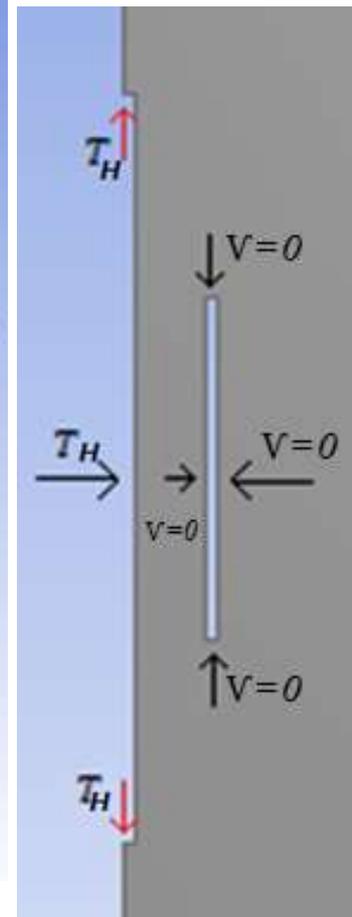
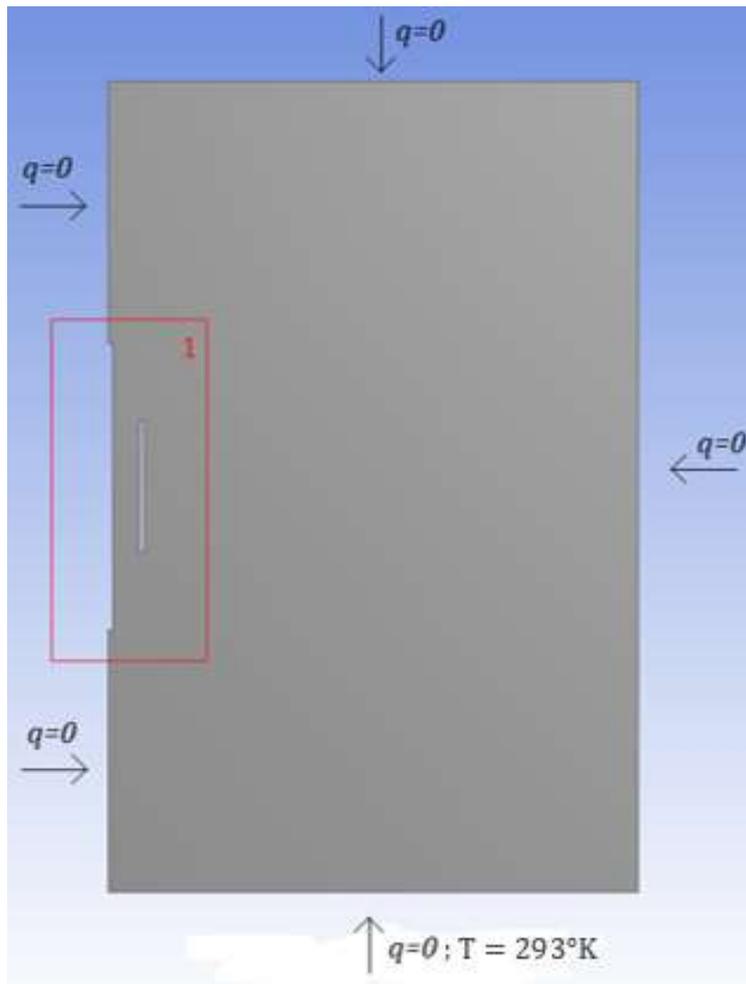
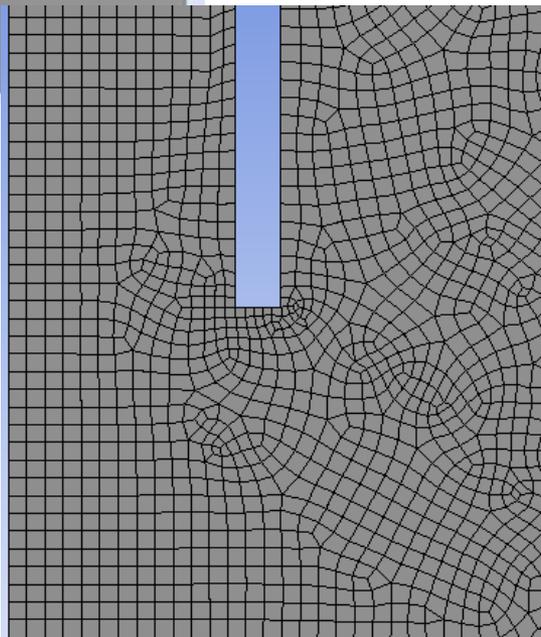
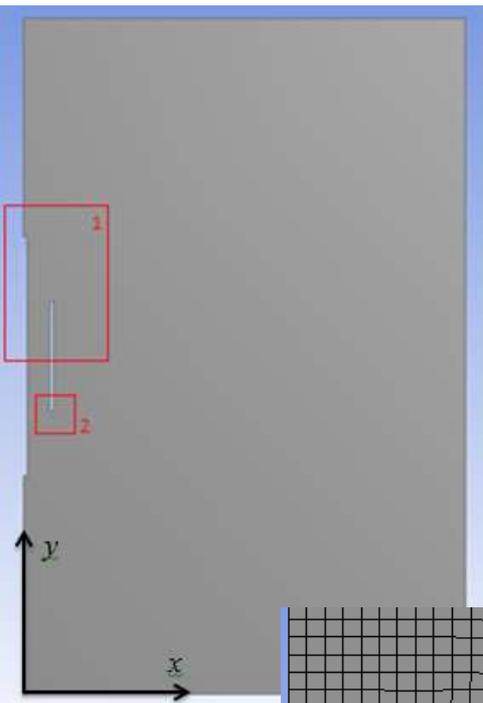


Температура размягчения (T_p) достигается в момент времени

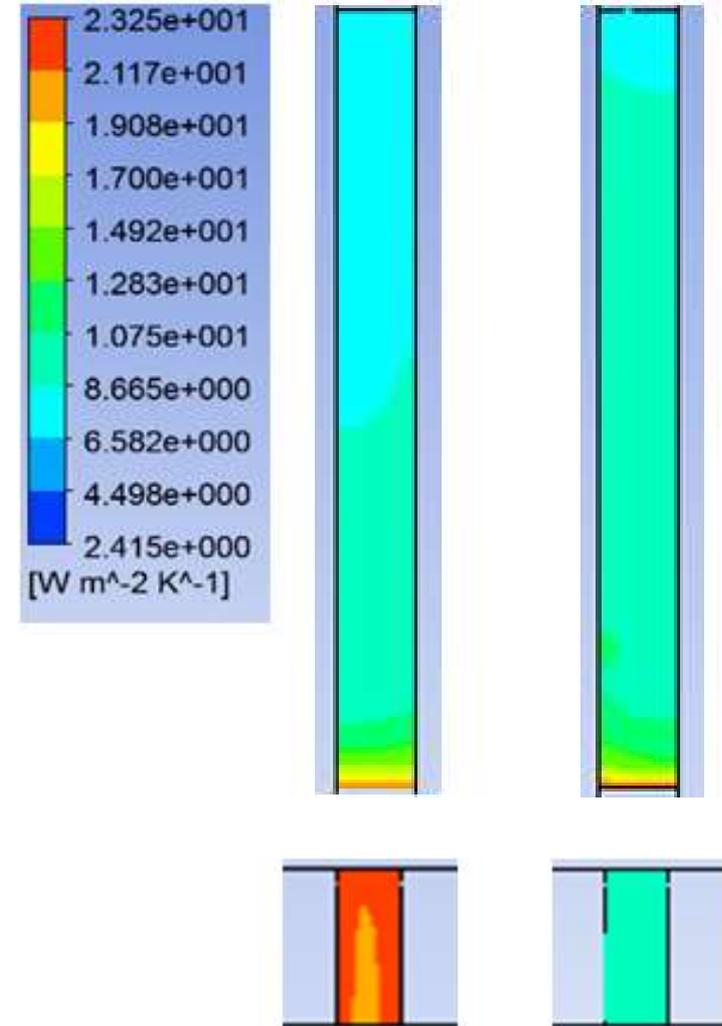
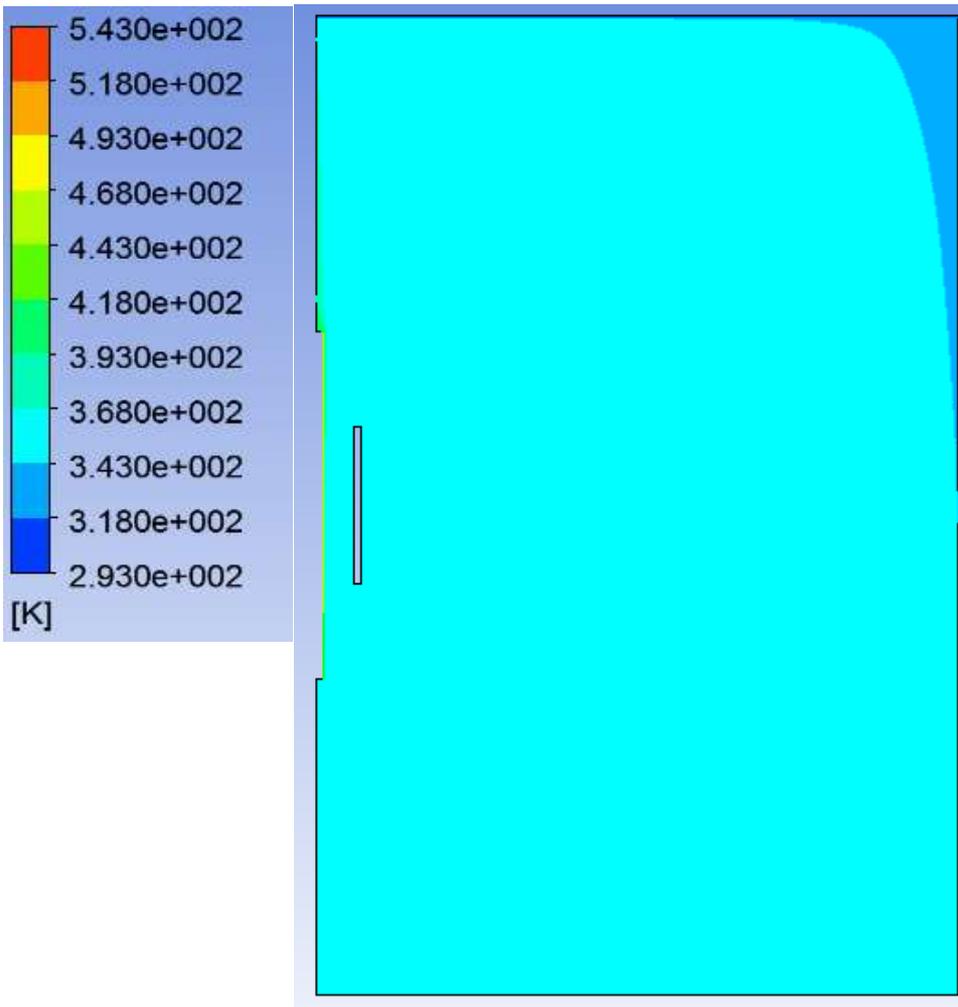
$$t = 385\text{c}$$



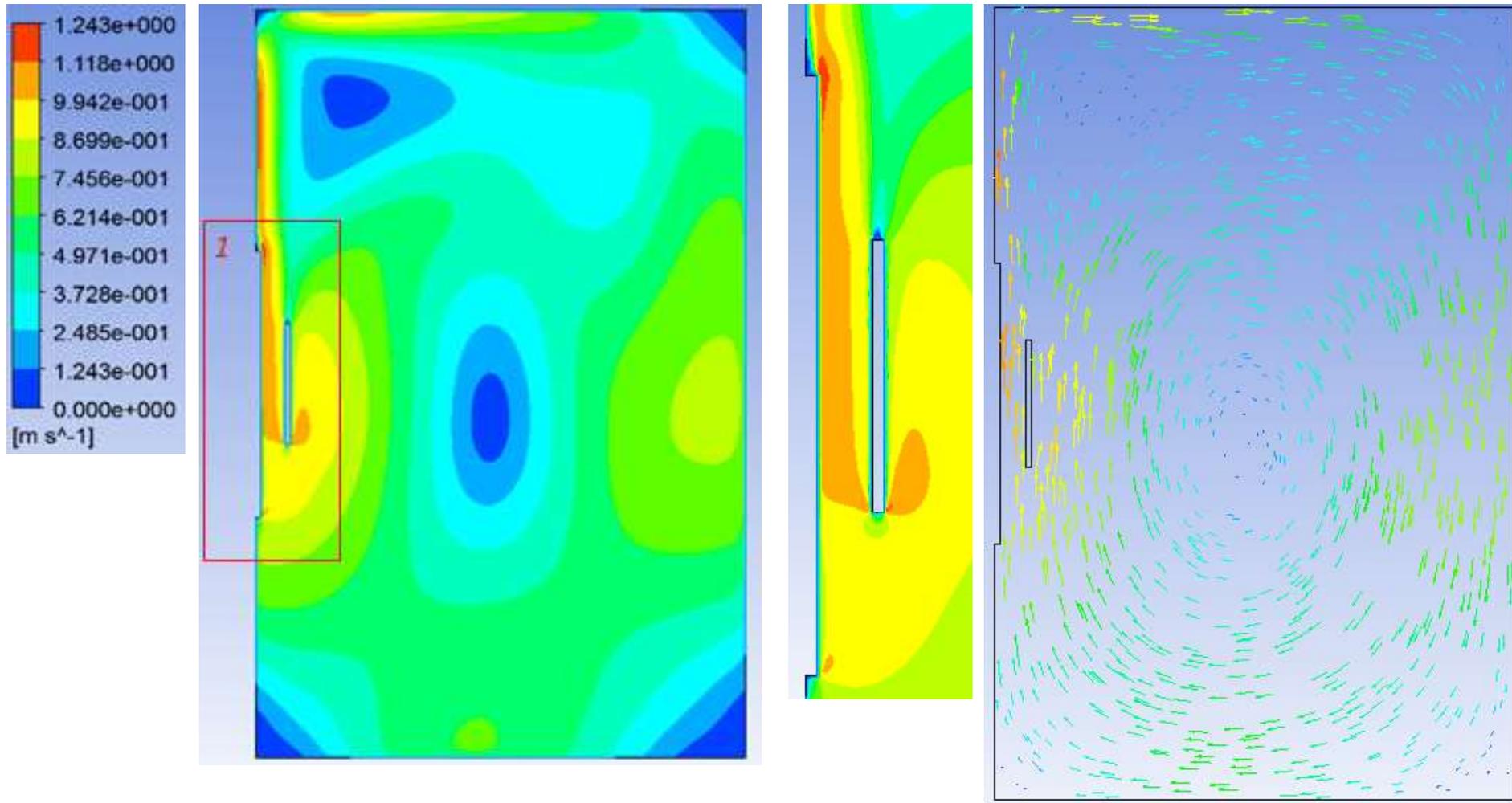
Стационарная задача в ANSYS CFX



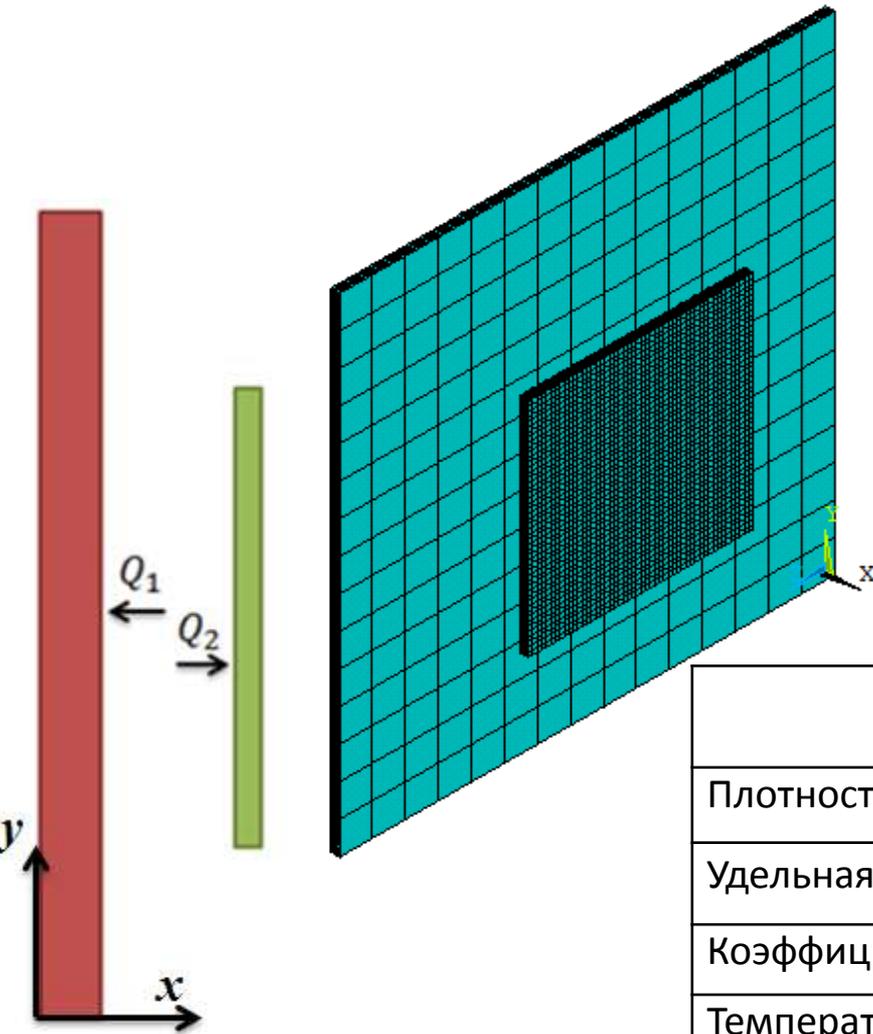
Распределение температуры по области и коэффициентов конвекции по листу



Распределение скорости движения воздуха по области



Влияние излучения на нагрев листа



$$Q \Big|_{x=0.02} = Q_1 = \varepsilon_1 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_H}{100} \right)^4$$

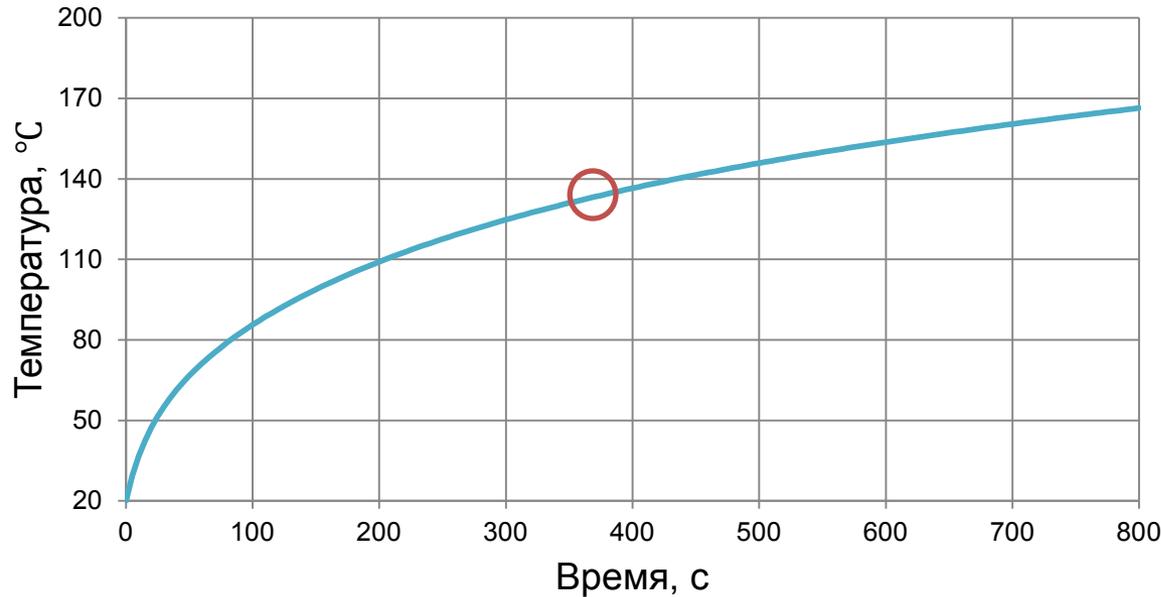
$$Q \Big|_{x=0.12} = Q_2 = \varepsilon_2 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_L(t)}{100} \right)^4$$

$$T_H \Big|_{t=0} = T_0$$

$$T_L \Big|_{t=0} = t_0$$

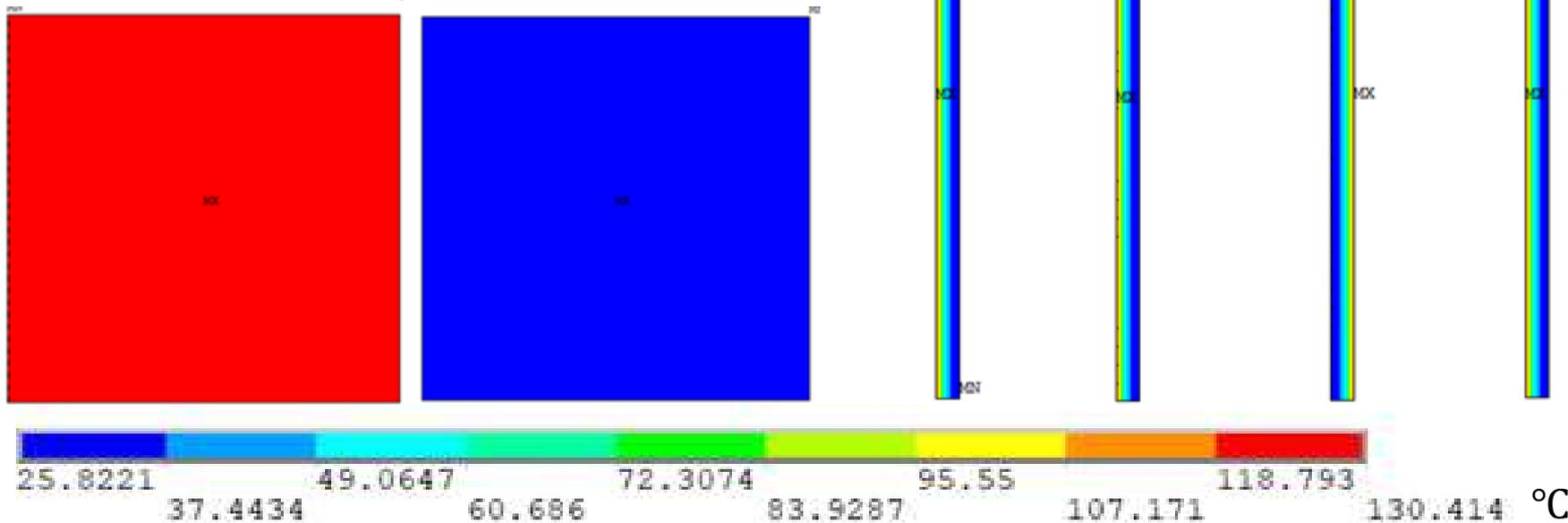
Параметр	Материал		
	ABS	ПНД	Керамика
Плотность, кг/м ³	1045	955	
Удельная теплоемкость, Дж/м·°C	1400	1780	
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°C	0,22	0,429	
Температура размягчения (T _p), °C	90	80	
Критическая температура (T _{кр}), °C	130	125	
Коэффициент степени черноты	0,9	0,95	0,9

Температура в середине грани 1, ABS

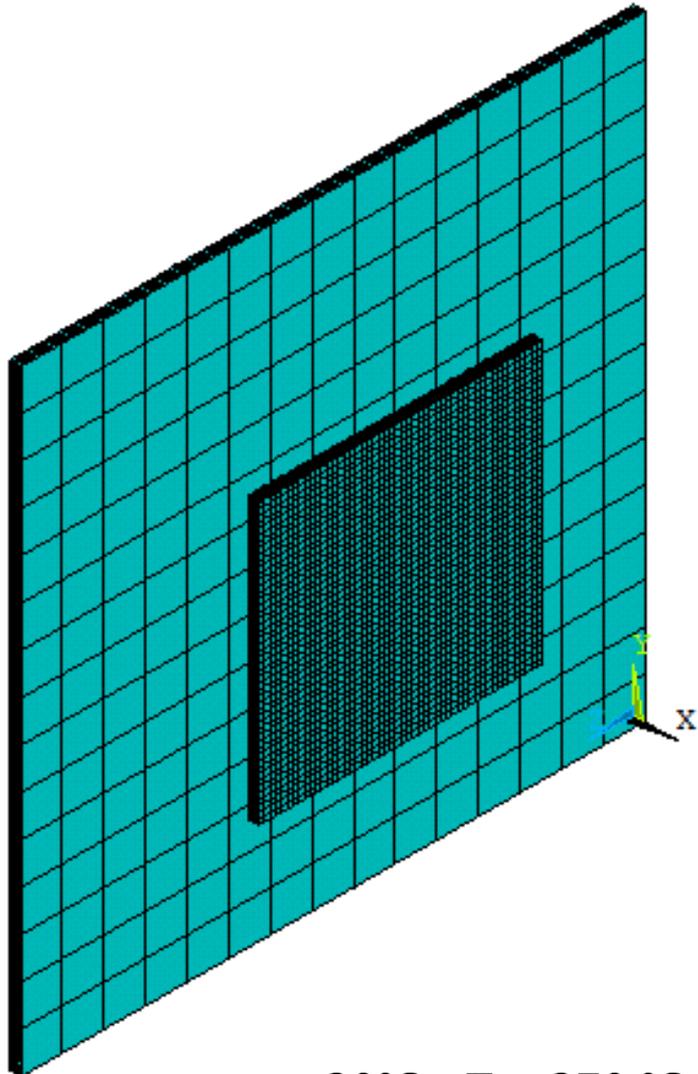


Критическая температура ($T_{кр}$) достигается в момент времени

$$t = 380с.$$



Нестационарная задача в ANSYS Mechanical APDL с уточненными граничными условиями



$$q_1 = \frac{\partial T}{\partial x} = -hT|_{x=0} = h_1(y) \cdot T_1;$$

$$q_2 = \frac{\partial T}{\partial x} = -hT|_{x=0.02} = h_2(y) \cdot T_2;$$

$$q_3 = \frac{\partial T}{\partial y} = -hT|_{y=0} = h_3(x) \cdot T_3;$$

$$q_4 = \frac{\partial T}{\partial y} = -hT|_{y=0.5} = h_4(x) \cdot T_3;$$

$$q_5 = \frac{\partial T}{\partial x} = -hT|_{z=0} = \begin{cases} h_1(y) \cdot T_3, & 0 \leq x \leq 0.01 \\ h_2(y) \cdot T_3, & 0.01 < x \leq 0.02 \end{cases};$$

$$q_6 = \frac{\partial T}{\partial x} = -hT|_{z=0.5} = \begin{cases} h_1(y) \cdot T_3, & 0 \leq x \leq 0.01 \\ h_2(y) \cdot T_3, & 0.01 < x \leq 0.02 \end{cases};$$

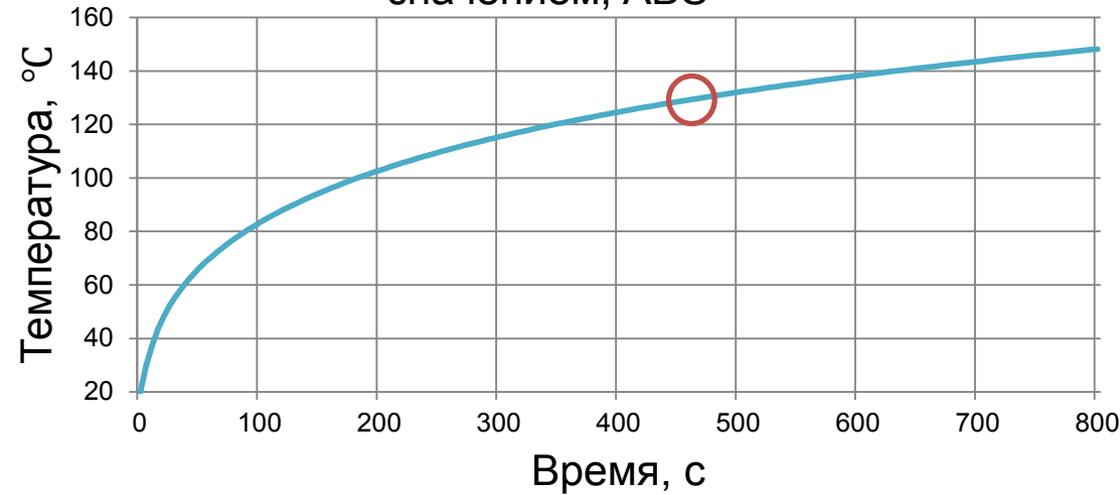
$$T_H|_{t=0} = T_0; \quad Q|_{x=0.02} = Q_1 = \varepsilon_1 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_H}{100}\right)^4;$$

$$T_L|_{t=0} = t_0; \quad Q|_{x=0.12} = Q_2 = \varepsilon_2 \cdot C_0 \cdot \left(\frac{T_L(t)}{100}\right)^4.$$

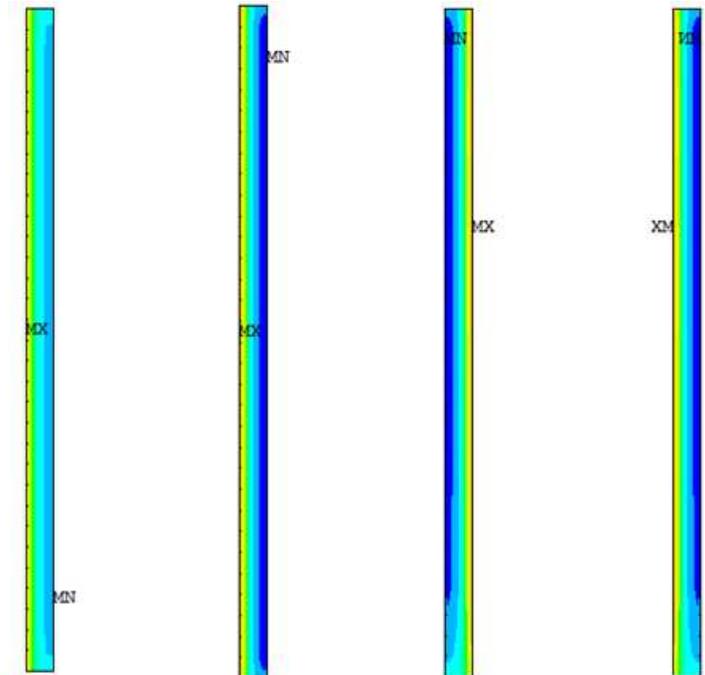
$$t_0 = 20^\circ\text{C}; \quad T_0 = 270^\circ\text{C}.$$

Совместное действие конвекции и излучения для материала ABS

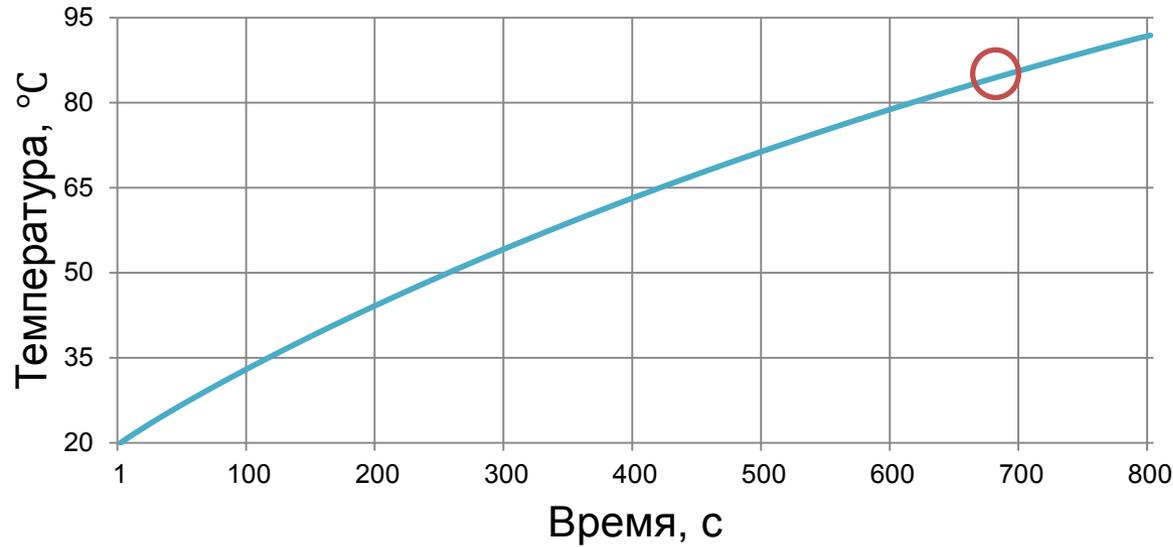
Температура, в точке с максимальным значением, ABS



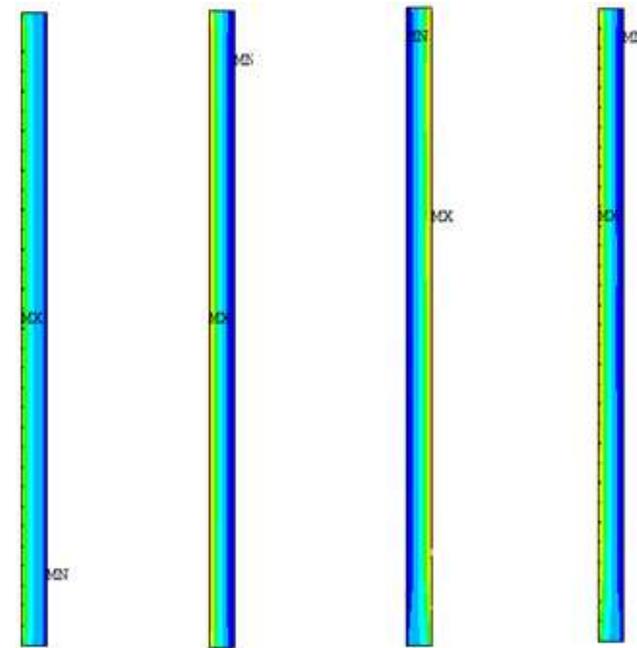
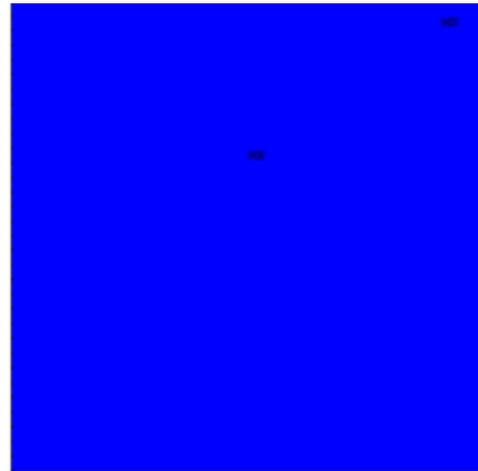
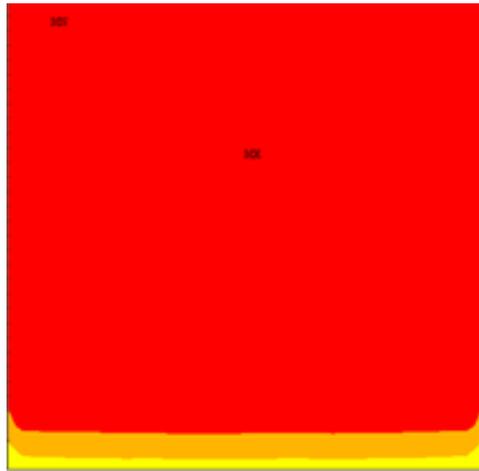
Критическая температура ($T_{кр}$) достигается в момент времени $t=470$ с.



Средняя температура листа по объему, ABS

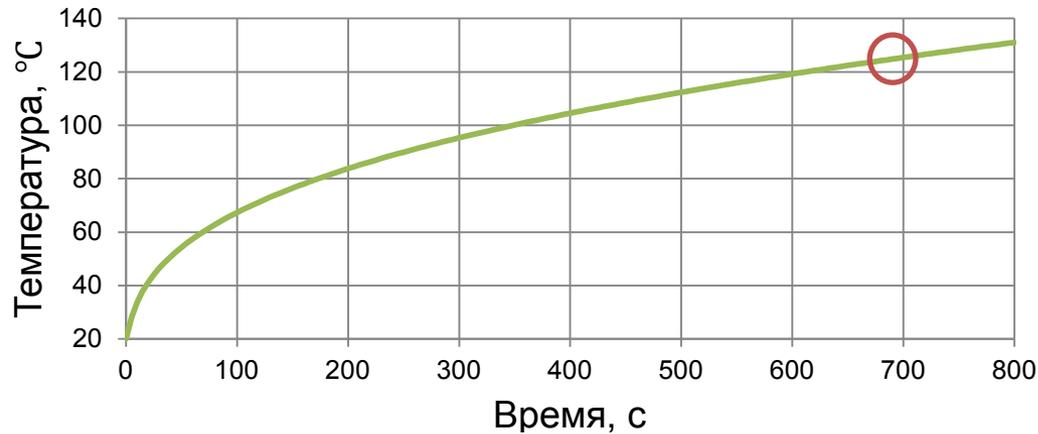


Температура размягчения (T_p)
достигается в момент
времени $t=765$ с.

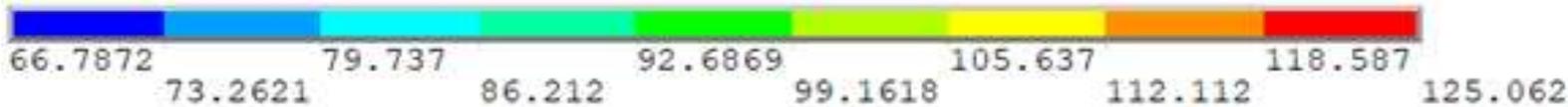
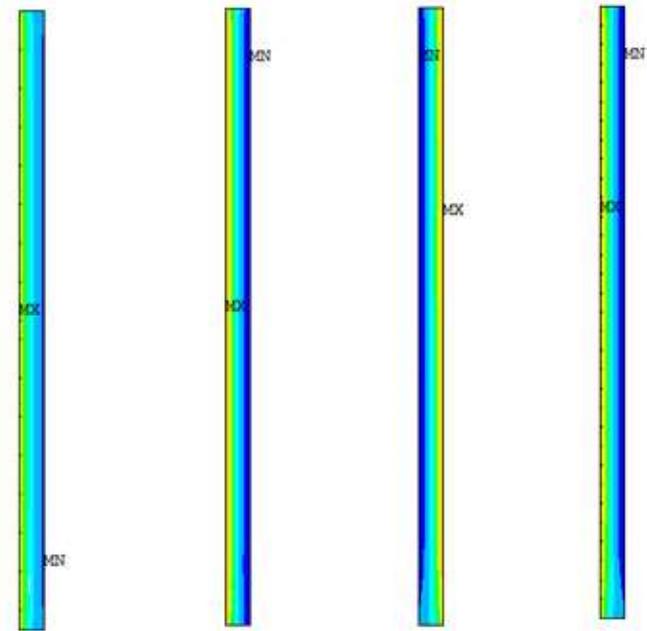
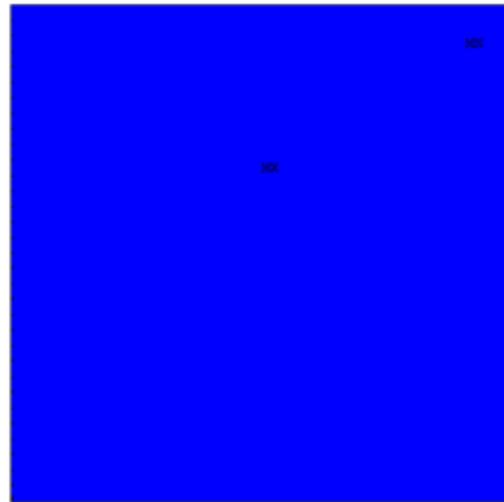


Совместное действие конвекции и излучения для материала ПНД

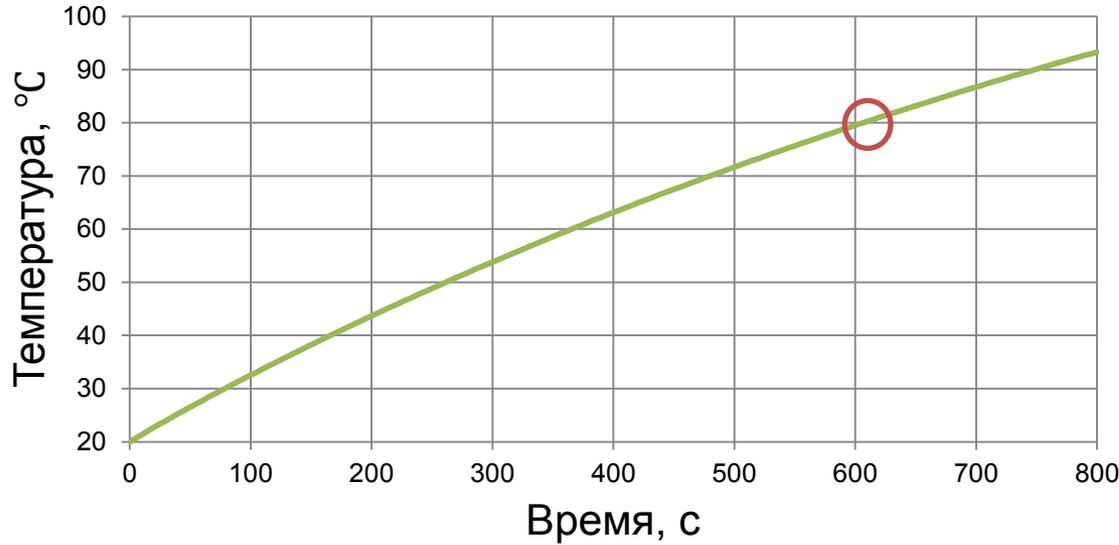
Температура, в точке с максимальным значением, ПНД



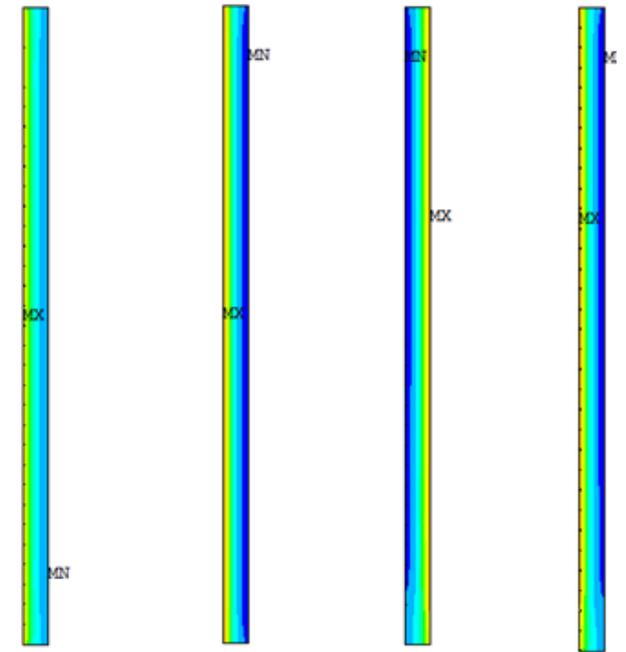
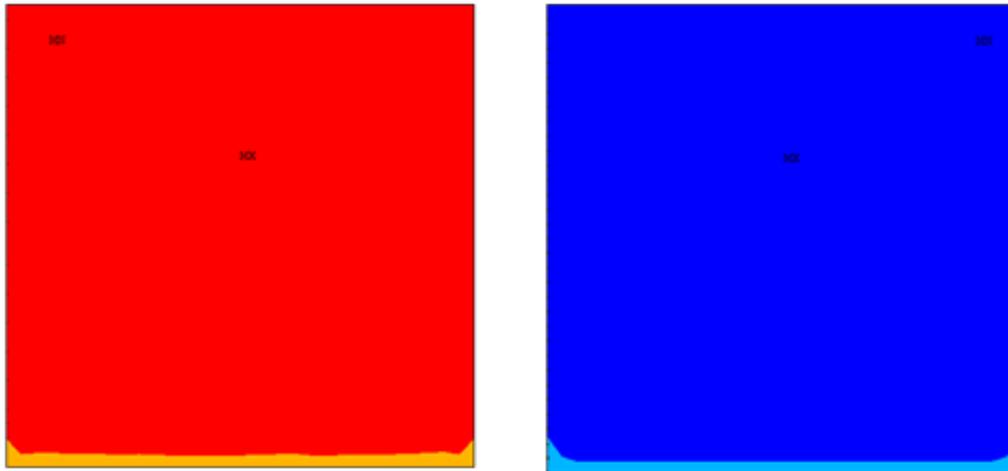
Критическая температура ($T_{кр}$) достигается в момент времени $t=695с$.



Средняя температура листа ПНД



Температура размягчения (T_p)
достигается в момент
времени $t=610$ с.



Выводы

Были получены следующие результаты:

- **для пластика ABS:**

- достижение критического значения температуры ($T_{кр1}$) – 470с.
- достижение средней температуры по листу значения ($T_{р1}$) - 765с.

Формовка в данных условиях нагрева не рекомендуется.

- **для пластика ПНД:**

- достижение критического значения температуры ($T_{кр2}$) – 695с.
- достижение средней температуры по листу значения ($T_{р2}$) - 610с.

Наиболее рациональное время для начала формовки – от 610 до 695 с.

Направления дальнейшего исследования

- Валидация модели;
- Расчет наиболее рационального времени нагрева для пластика ABS;
- Определение наиболее рационального режима нагревания;
- Исследование теплового состояния по толщине листа;