Московский энергетический институт
(национальный исследовательский университет)

Кафедра ФЭМАЭК

Метод моделирования градиентного нагрева металлических заготовок

Аспирант: Некрасова Н.С.
Руководитель: д.т.н., проф. Кувалдин А.Б.

Москва, 2011

Основные положения

- Разработка методики расчета параметров индукционной системы «индуктор-заготовка».
- Математическое моделирование установки индукционного градиентного нагрева алюминиевых заготовок в программе ELCUT.
- Расчет конструкции индуктора для градиентного нагрева и режимов его работы.
- Разработка новых вариантов индукторов для градиентного нагрева.

Проводящие материалы кабельных изделий

Металлическая оболочка кабеля

Параметры сравнения	Свинец	Сталь	Алюминий
Температура плавления, °С	327	1530	660
Плотность, кг/м^3	11340	7800	2700
Предел прочности, МПа	13-18	250-400	60-70
Теплопроводность, Вт/м·К	34,7	84	218
Коррозийная стойкость	высокая	низкая	низкая
Стоимость, $/тонна	2291,00	849,36	2265,64
Метод нагрева	литье	дуговая сварка	индукционный градиентный

Конструкция существующей установки

Прокладка

Слиток

Лоток

Плита

Брус

Цилиндр

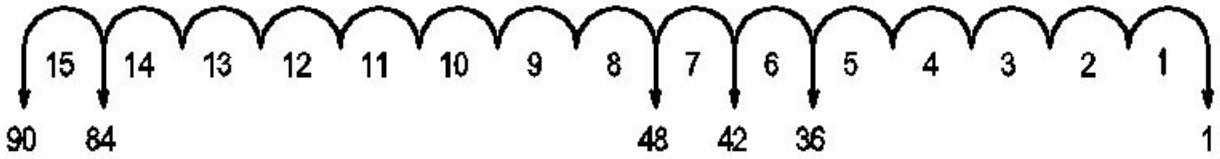
Магнитопровод

Индуктор

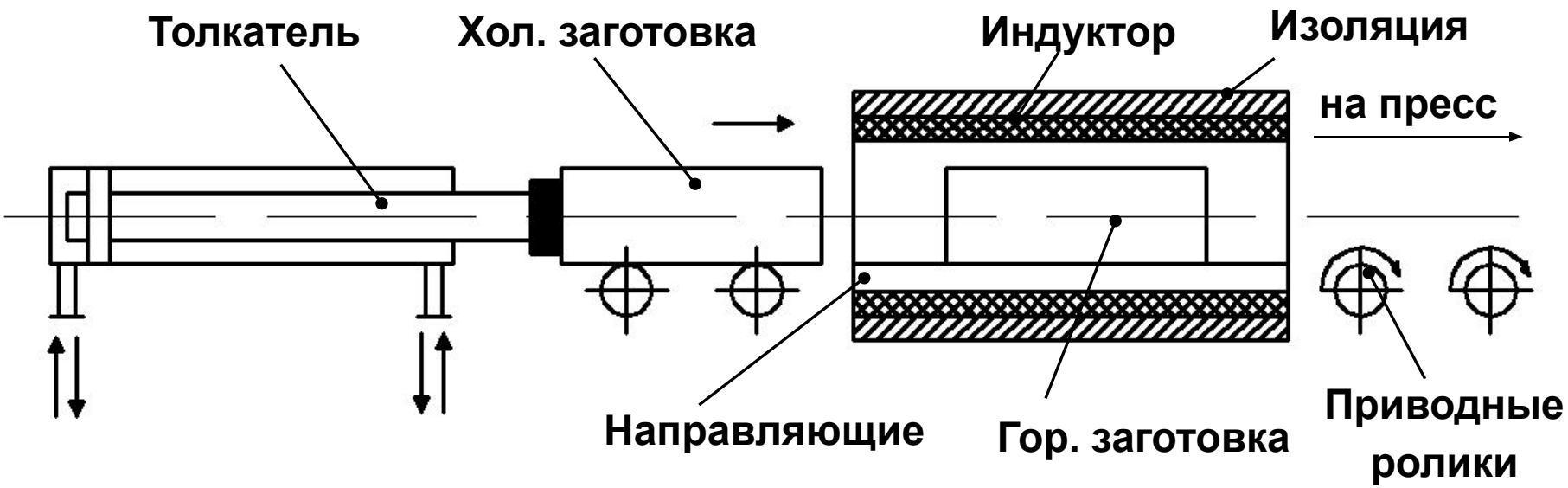
Расположение секций индуктора

Номера секций (1-15)

Номера витков (1-90)



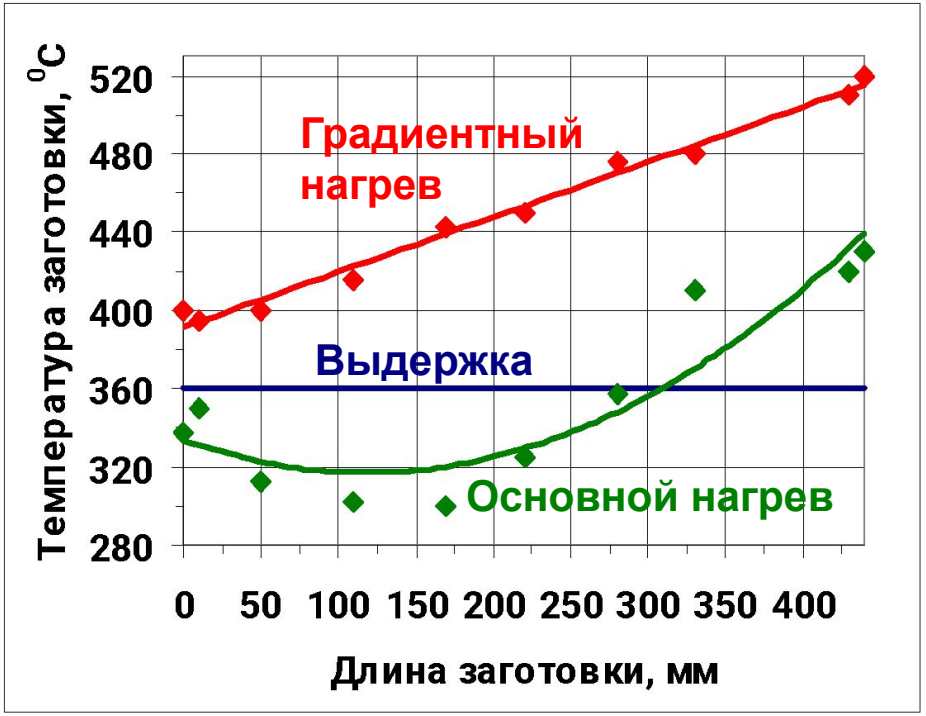
Работа индукционной установки



Этапы нагрева

Этап	Время, сек	Количество витков	Температура, ^{0}C
Основной нагрев	82	84	420
Выдержка	91	84	380
Градиентный нагрев	19	48	520

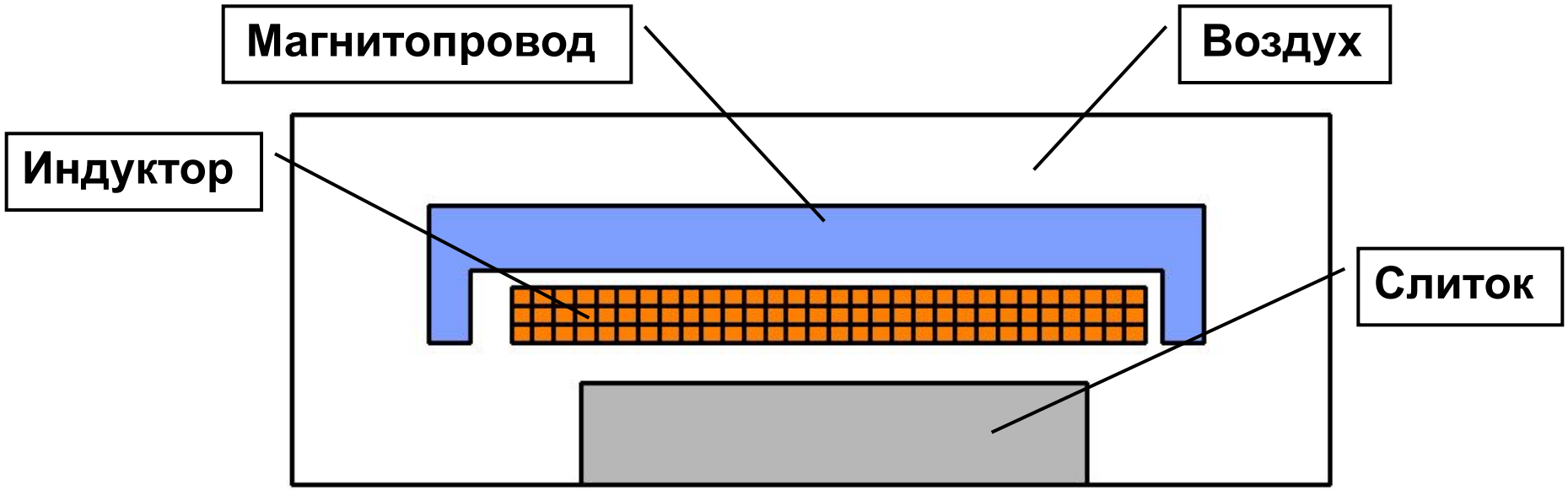
Распределение температуры по длине



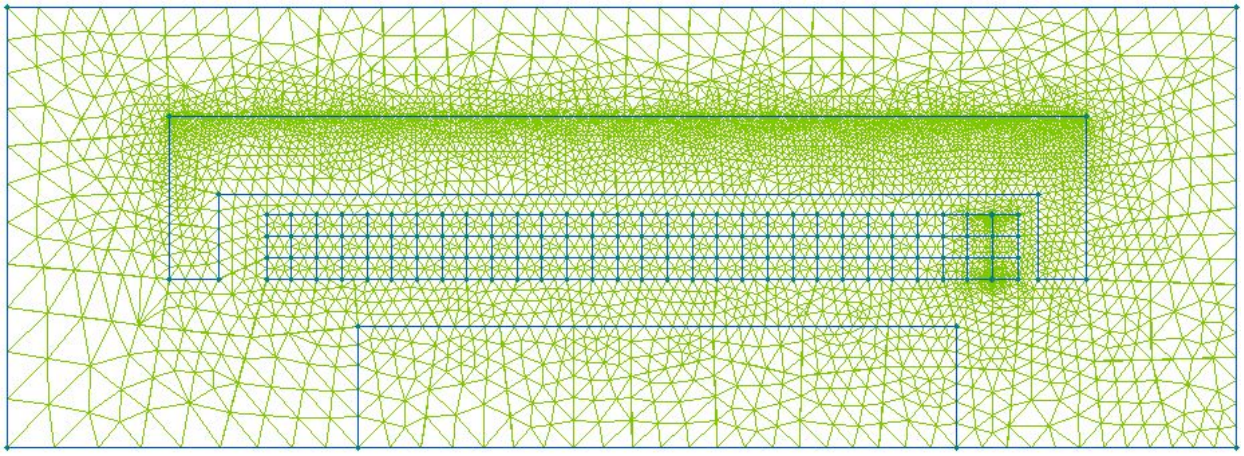
Электрические характеристики

Этап нагрева	Напряжение на индукторе $U_и$, В	Ток индуктора $I_и$, А	Акт. мощность индуктора $P_и$, кВт
Основной нагрев	427,5	2540	274,3
Выдержка	286,0	1640	128,0
Градиентн. нагрев	201,1	2280	122,7

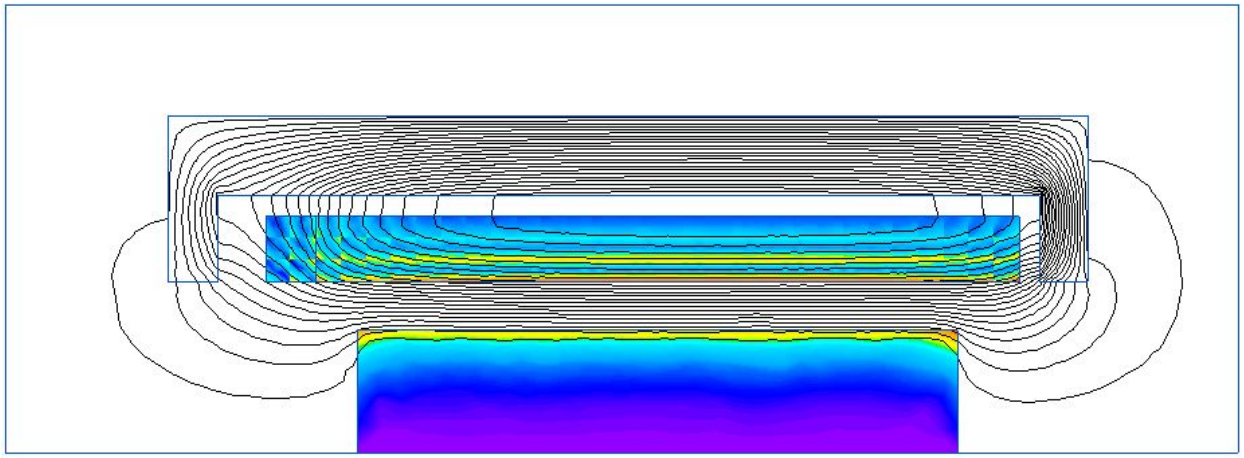
Геометрическая осесимметричная модель установки в среде ELCUT



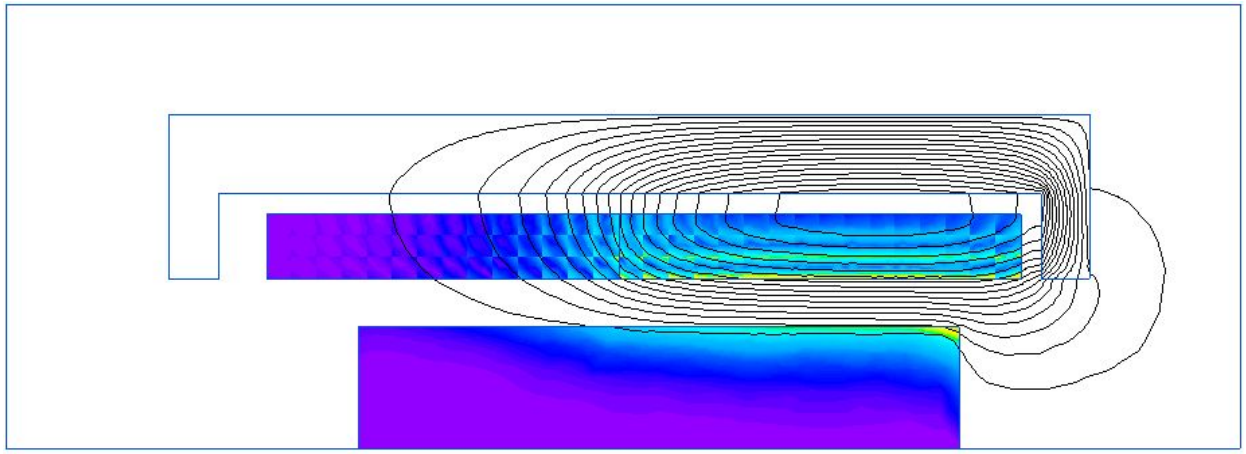
Конечно-элементная сетка



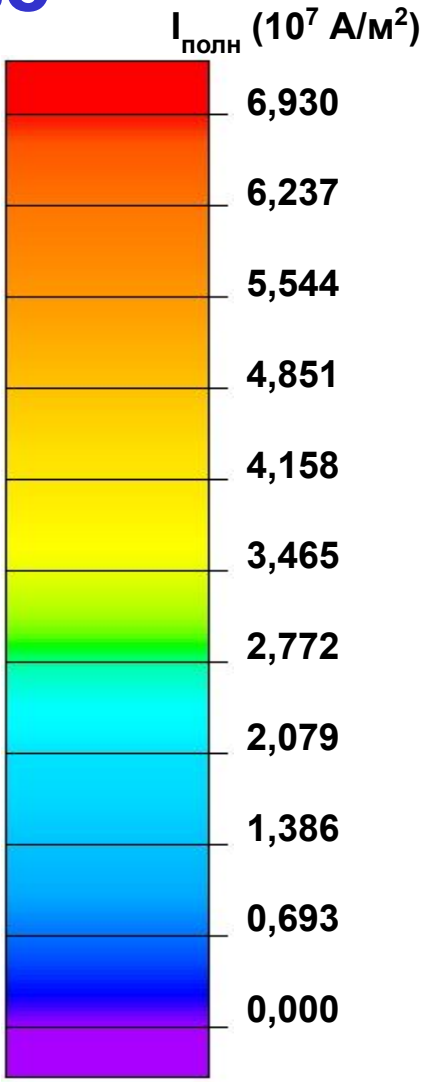
Распределение плотности тока в заготовке при основном (*а*) и градиентном (*б*) нагреве



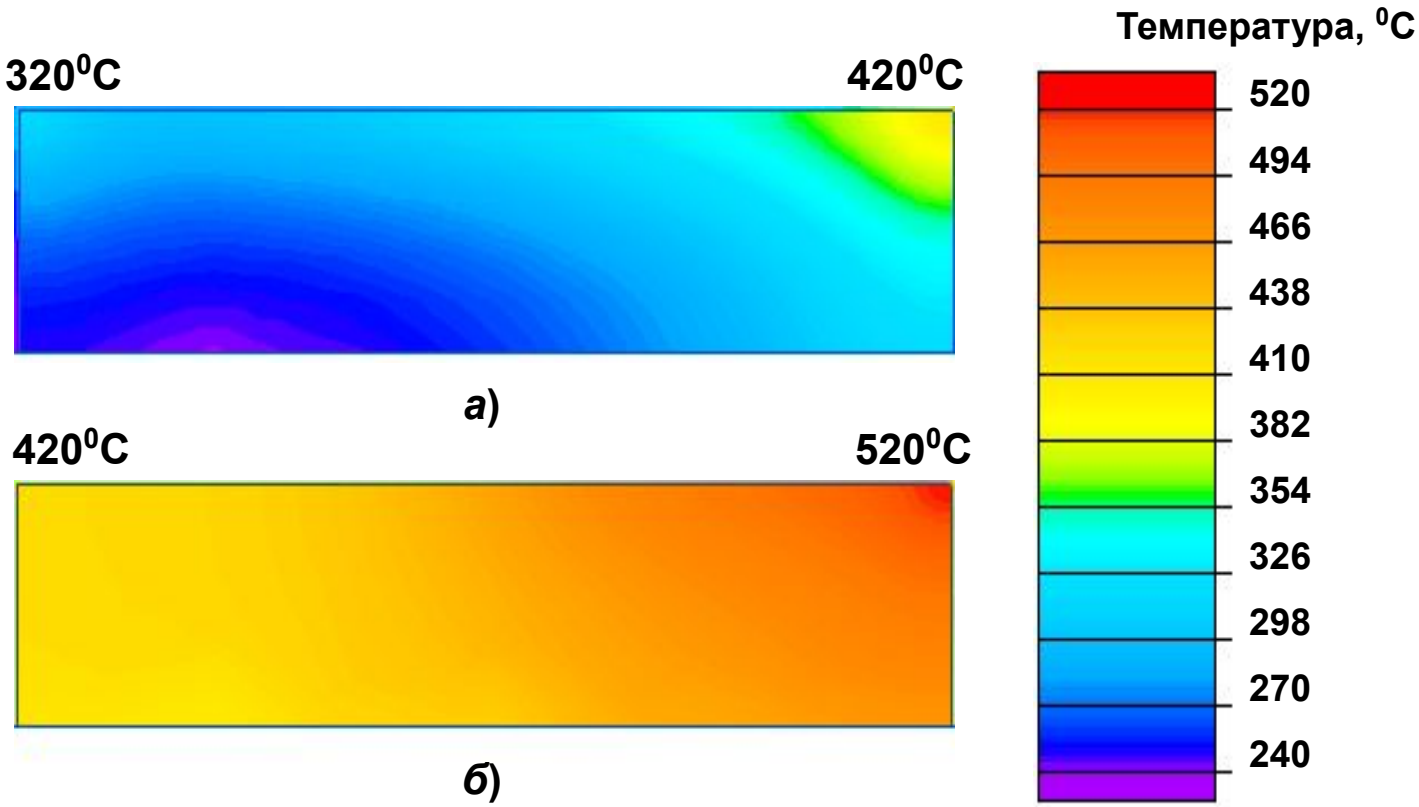
а)



б)

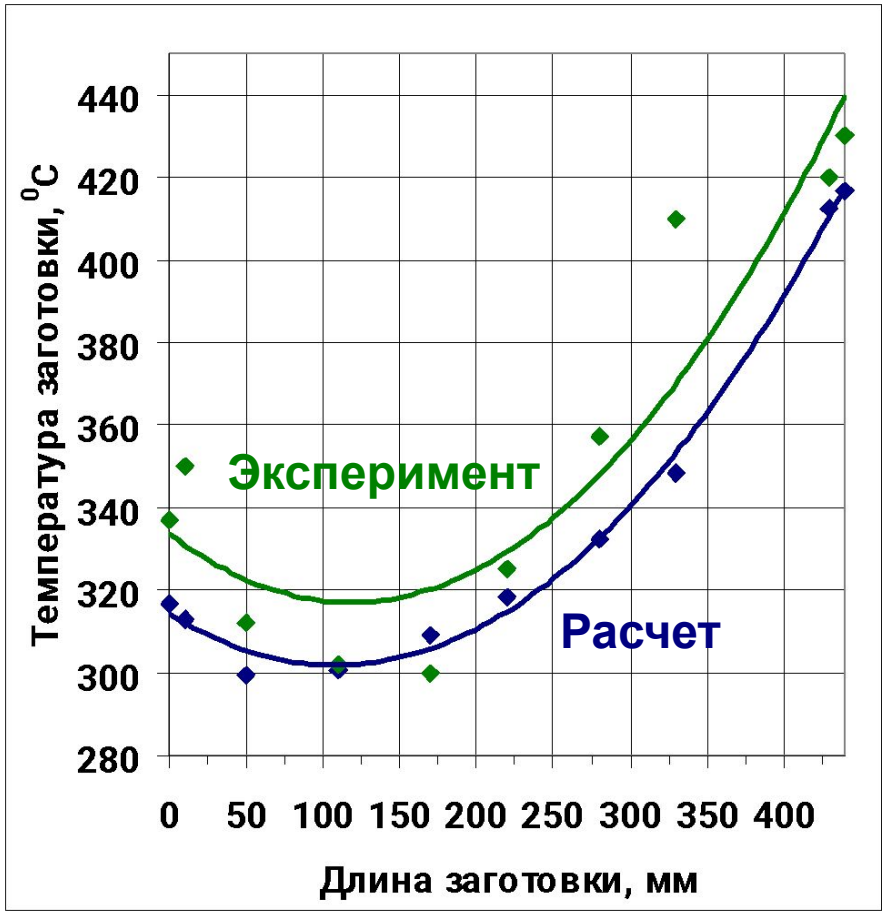


Распределение температуры в заготовке при основном (*а*) и градиентном (*б*) нагреве

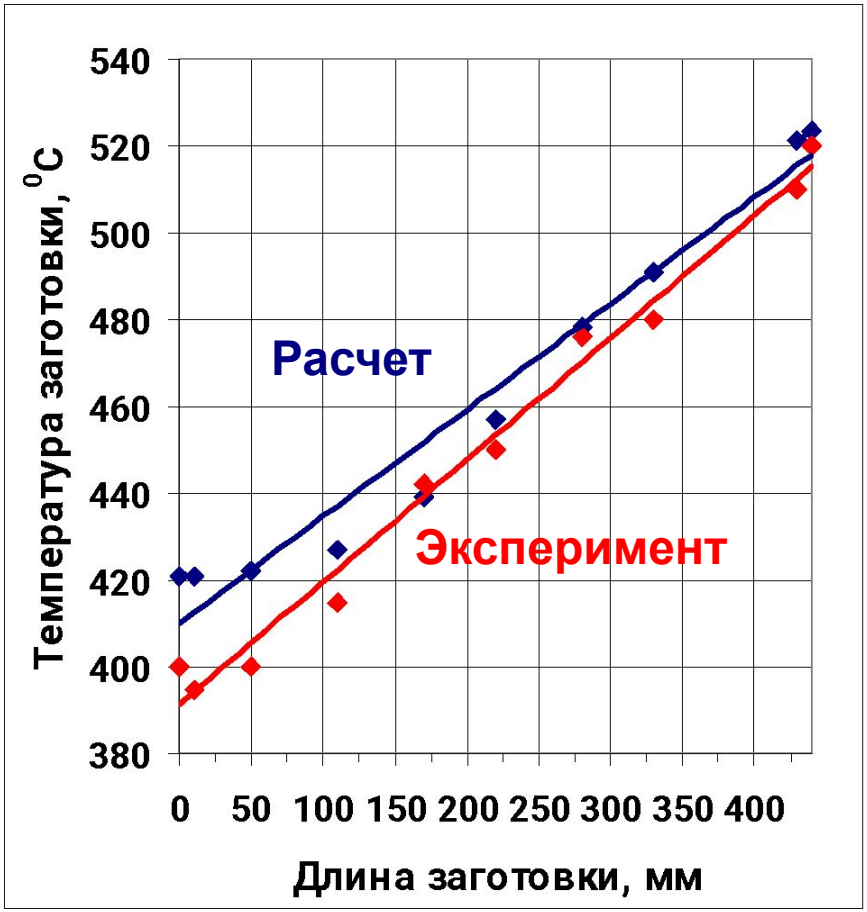


Сравнение распределения температуры по длине заготовки

Основной нагрев

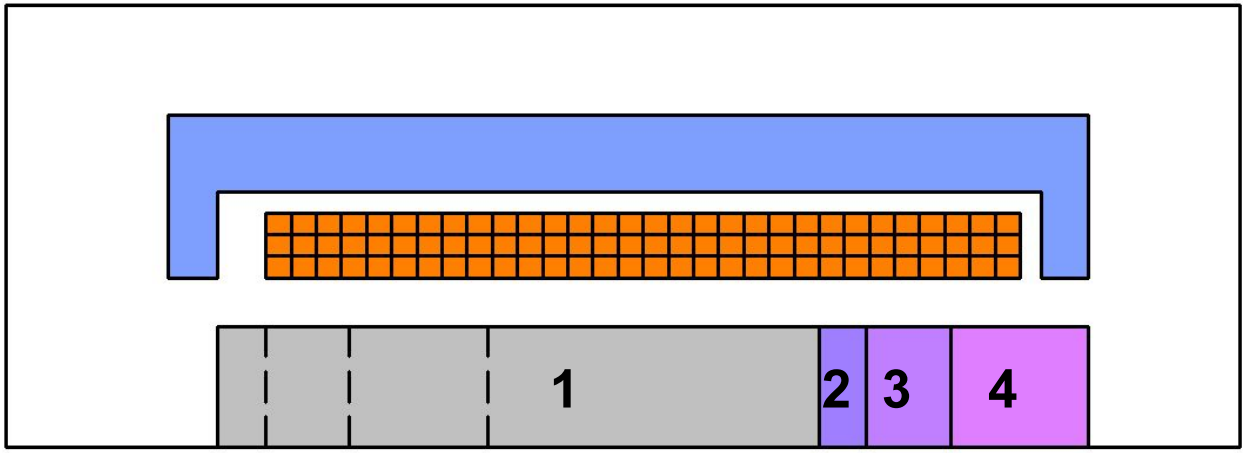


Градиентный нагрев

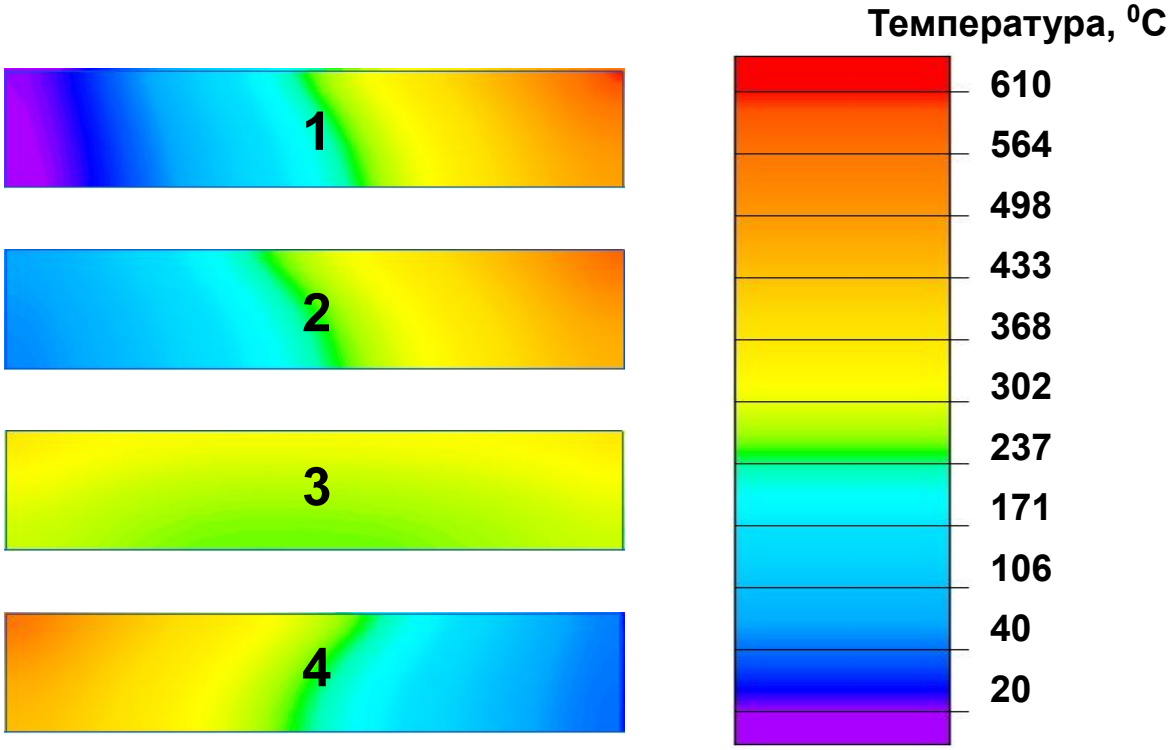


Погрешность ≤ 10 %.

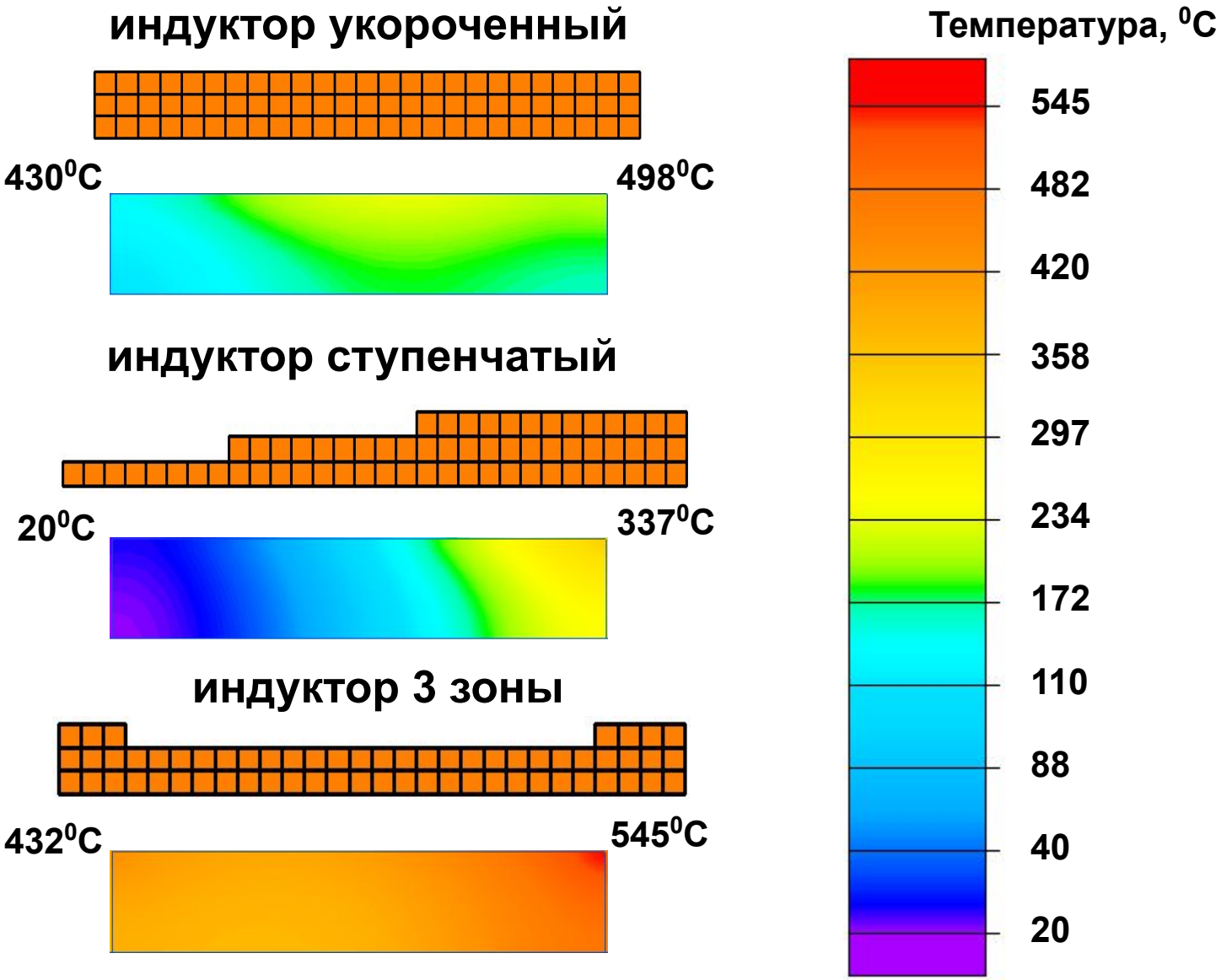
Исследование установки в среде ELCUT



Распределение температуры в заготовке по позициям:



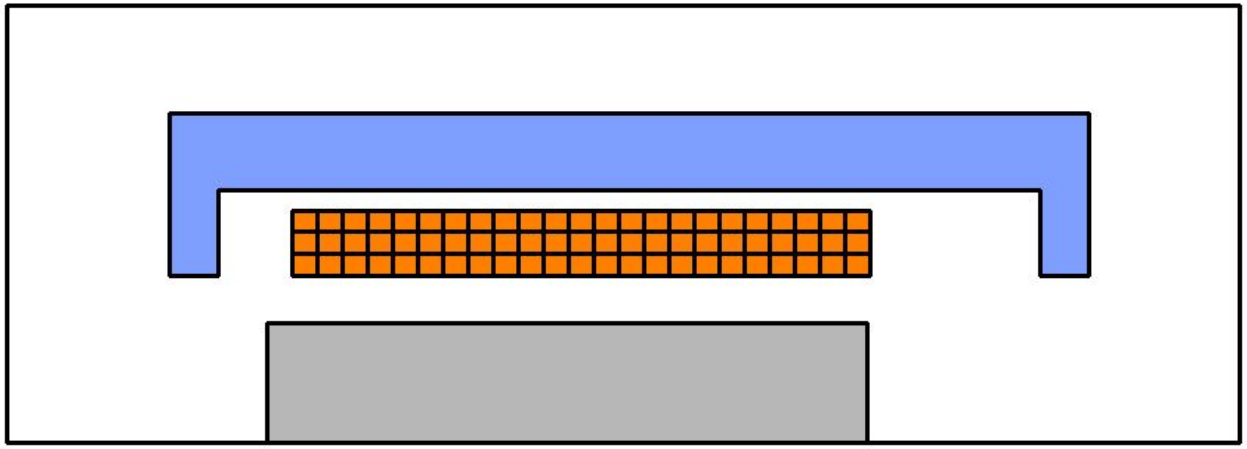
Исследование формы индуктора

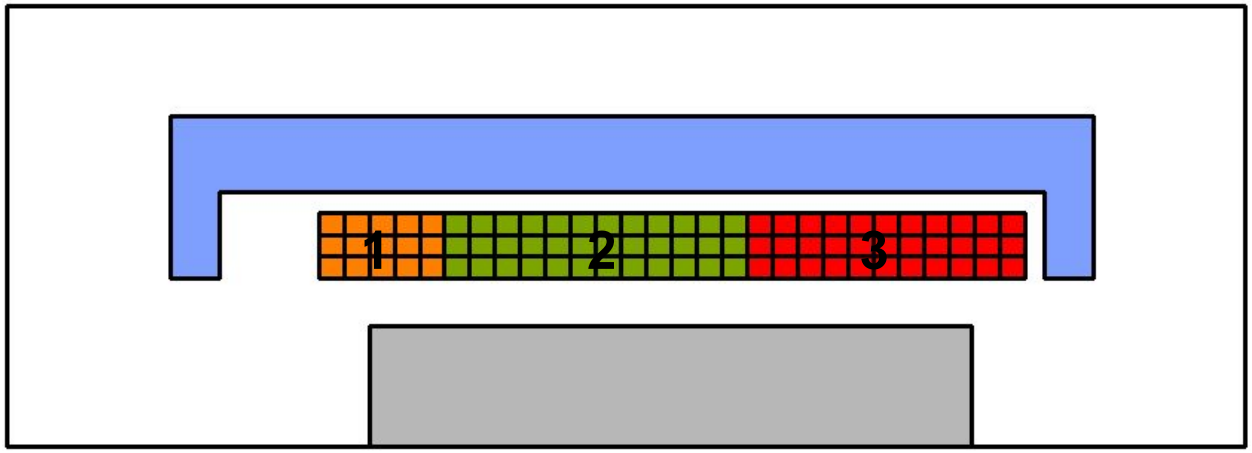


Разработка новых вариантов установки

Вариант 1

Время: t = 140 с
Длина индуктора:
L = 418 мм
Число витков: W = 66
Ток: I = 2540 А



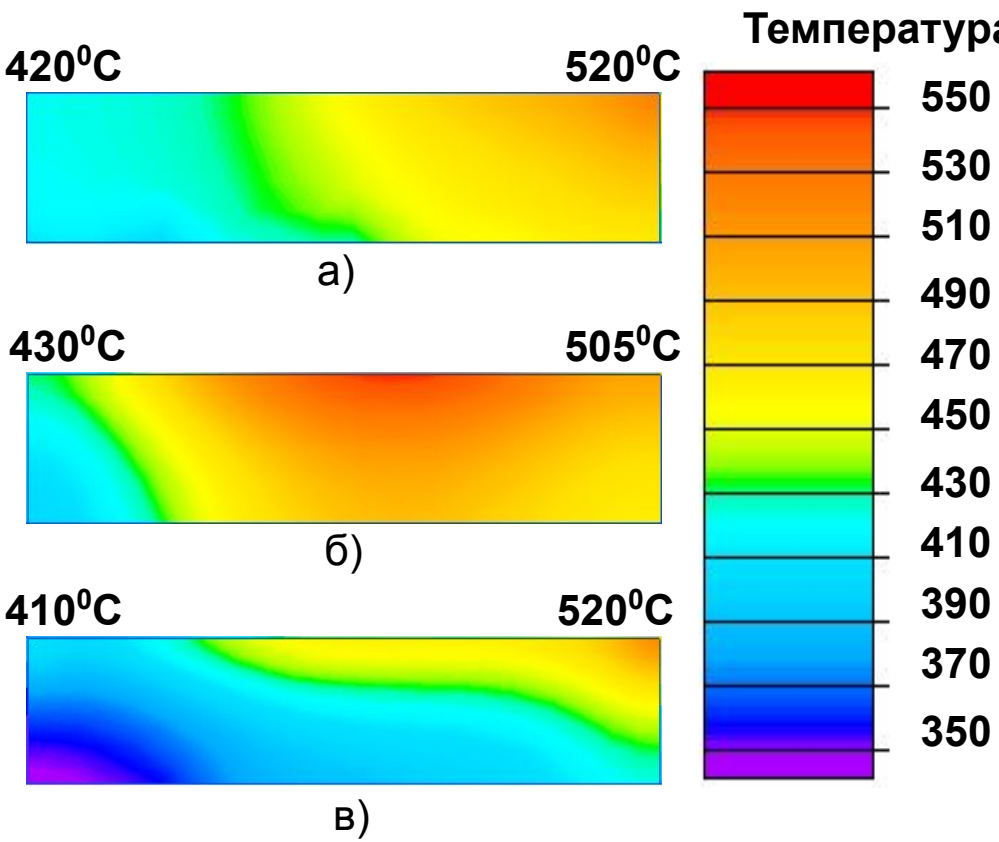


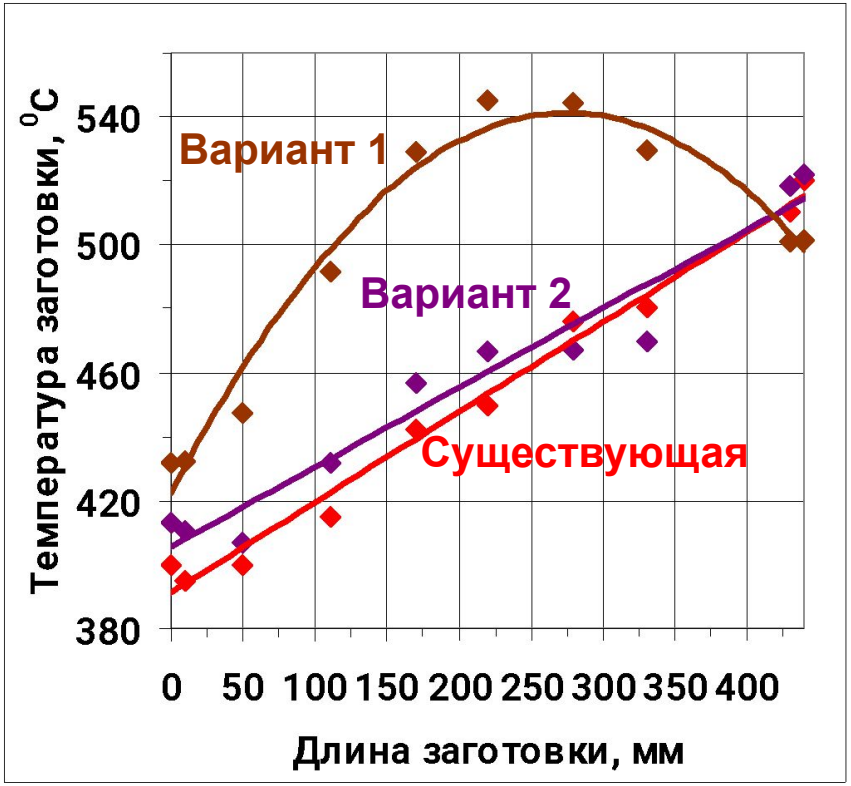
Вариант 2

Время: t = 90 с
Длина индуктора:
L = 513 мм
Число витков: W = 84

Параметры	Зоны индуктора		
	Зона 1	Зона 2	Зона 3
Кол-во витков, шт	15	36	33
Ток индуктора $I_и$, А	2140	3040	2540

Распределение температуры в заготовке в установках: существующей (а), вариант 1 (б), вариант 2 (в)





Заключение

- Разработана компьютерная модель для анализа электромагнитных и тепловых процессов в индукционной установке градиентного нагрева
- Доказана достоверность результатов математического моделирования совпадением результатов расчета с данными экспериментов
- Предложены и смоделированы два эффективных варианта индукторов для градиентного нагрева алюминиевых заготовок
- Определены оптимальные электрические и технологические параметры процессов нагрева