

**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

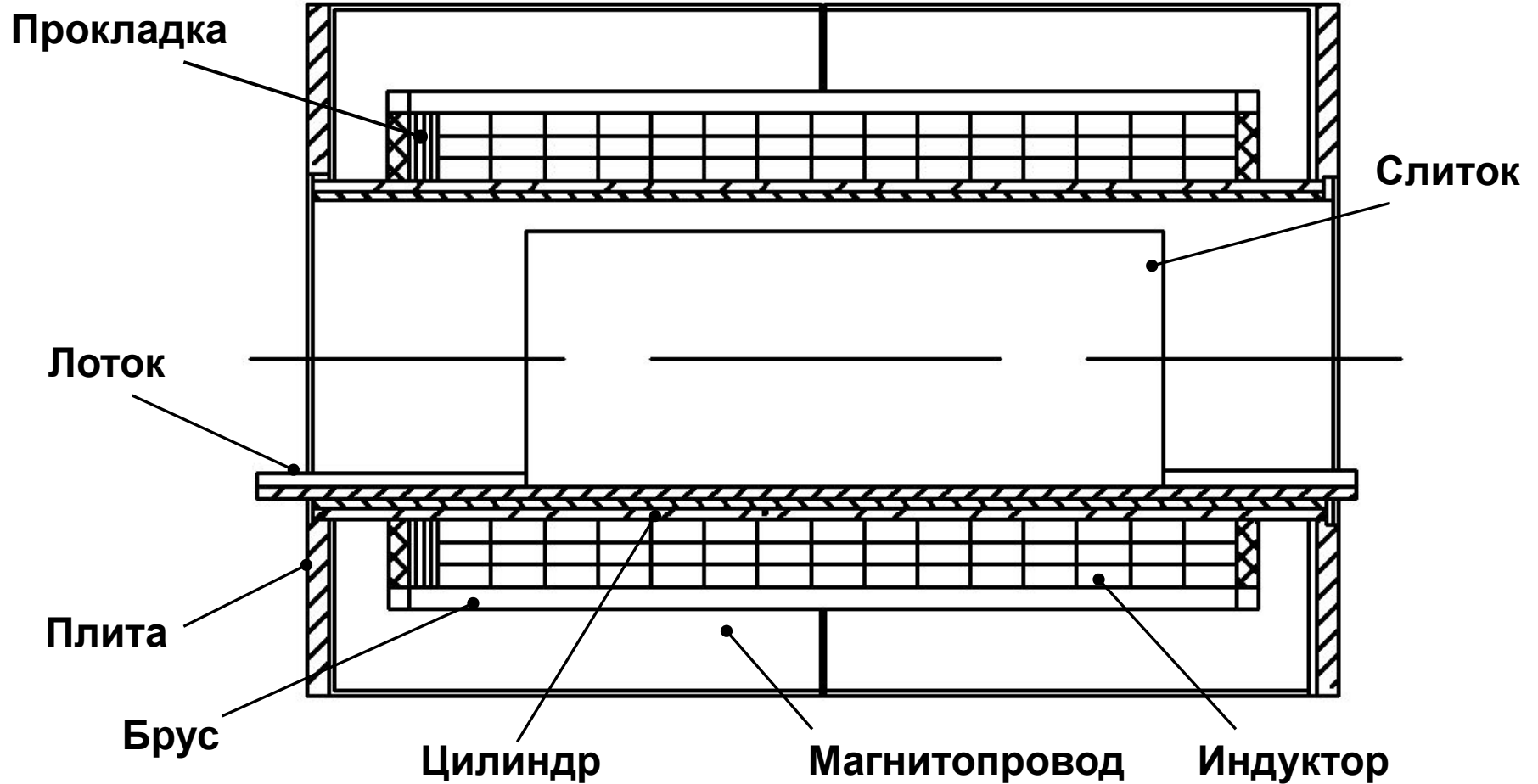
- ❑ Разработка методики расчета параметров индукционной системы «индуктор-заготовка».
- ❑ Математическое моделирование установки индукционного градиентного нагрева алюминиевых заготовок в программе ELCUT.
- ❑ Расчет конструкции индуктора для градиентного нагрева и режимов его работы.
- ❑ Разработка новых 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 <sup>3</sup>	11340	7800	2700
Предел прочности, МПа	13-18	250-400	60-70
Теплопроводность, Вт/м·К	34,7	84	218
Коррозионная стойкость	высокая	низкая	низкая
Стоимость, \$/тонна	2291,00	849,36	2265,64
Метод нагрева	литье	дуговая сварка	индукционный градиентный

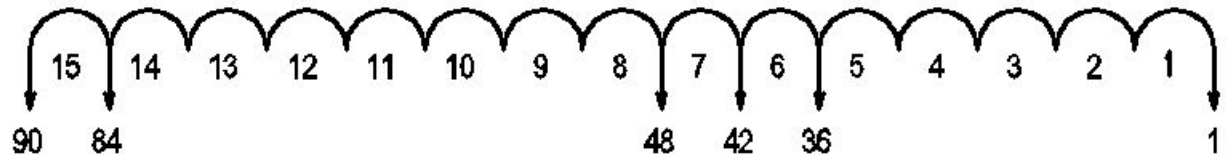
# Конструкция существующей установки



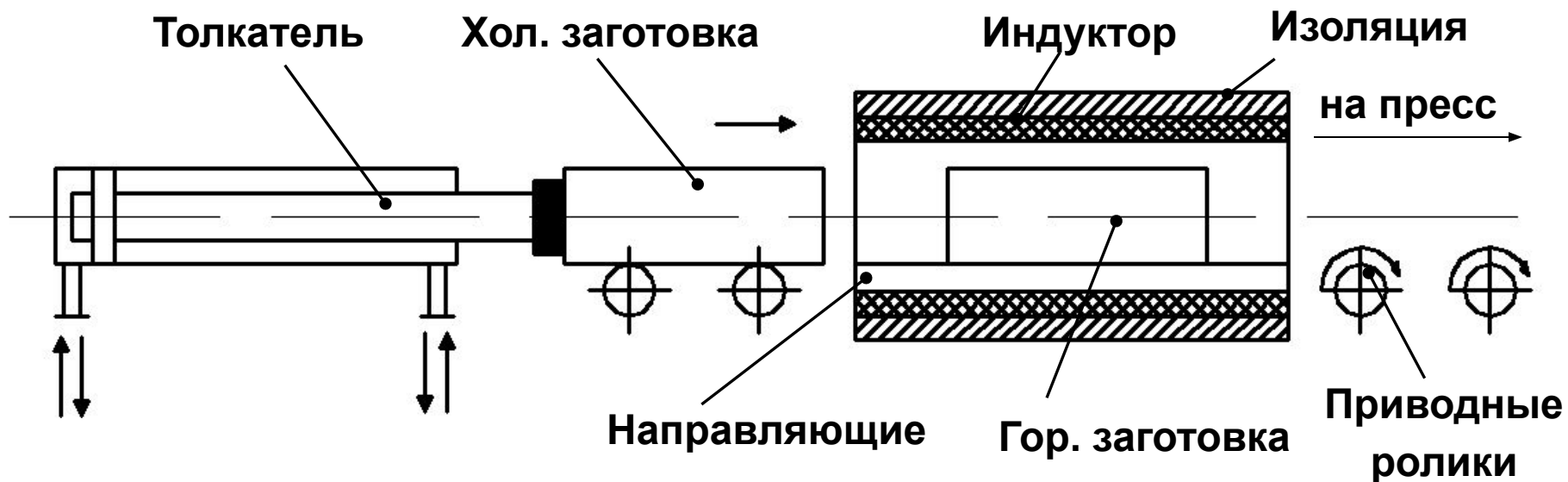
## Расположение секций индуктора

Номера секций (1-15)

Номера витков (1-90)



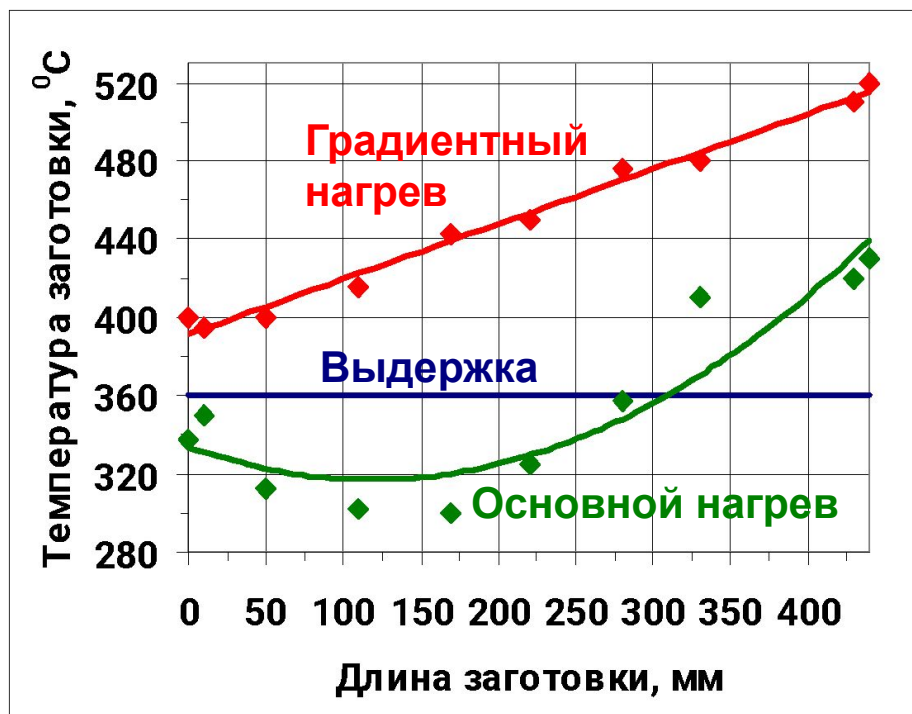
# Работа индукционной установки



## Этапы нагрева

Этап	Время, сек	Количество витков	Температура, °С
Основной нагрев	82	84	420
Выдержка	91	84	380
Градиентный нагрев	19	48	520

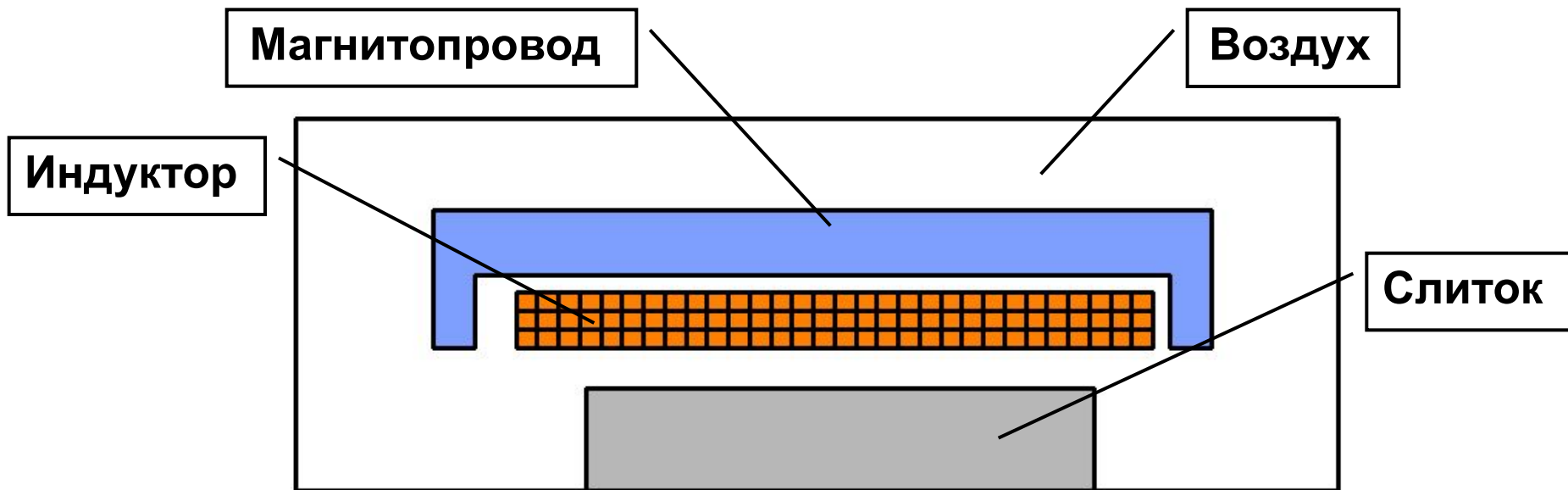
# Распределение температуры по длине



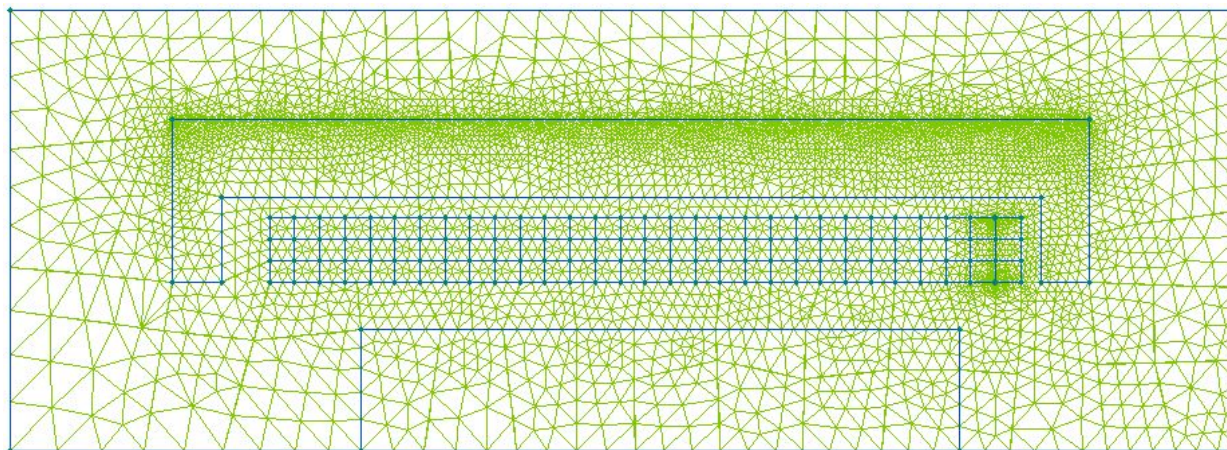
## Электрические характеристики

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

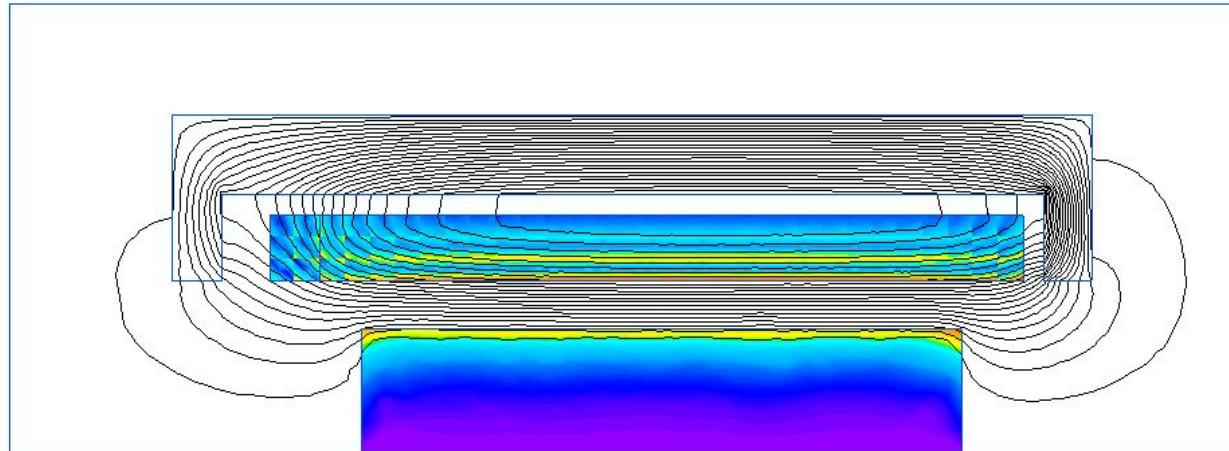
# Геометрическая осесимметричная модель установки в среде ELCUT



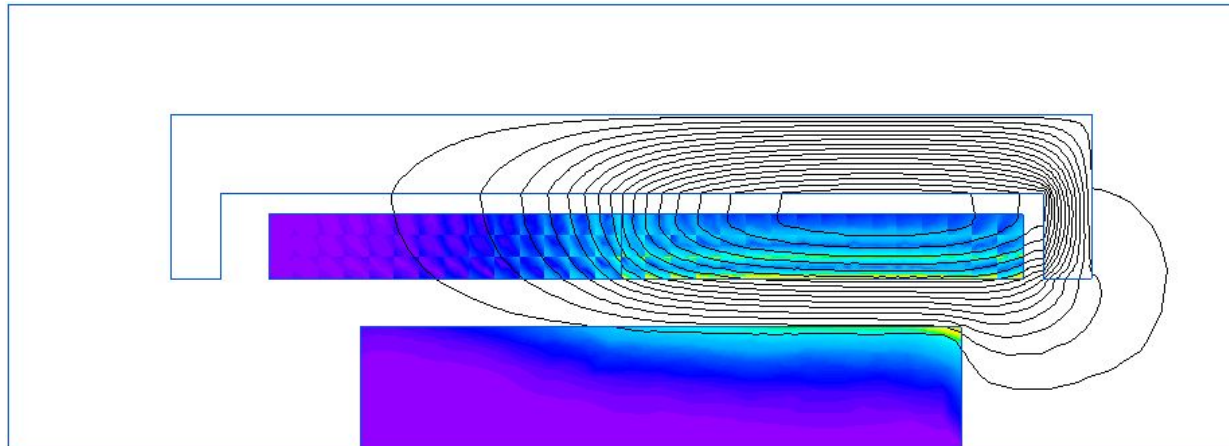
## Конечно-элементная сетка



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

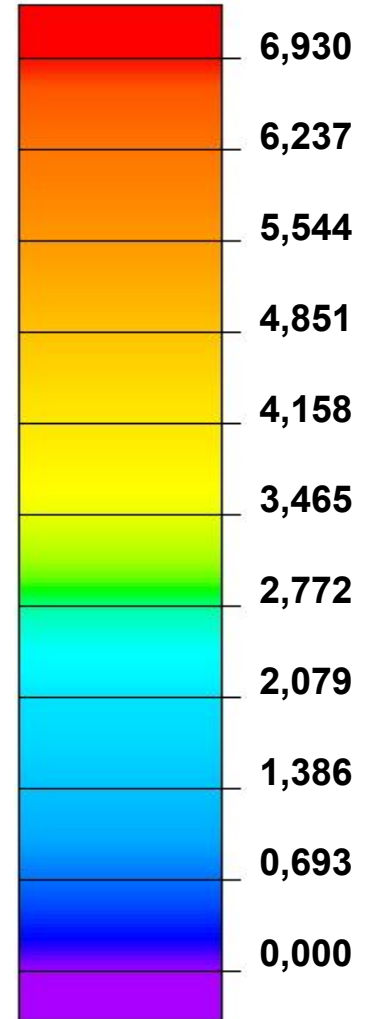


а)



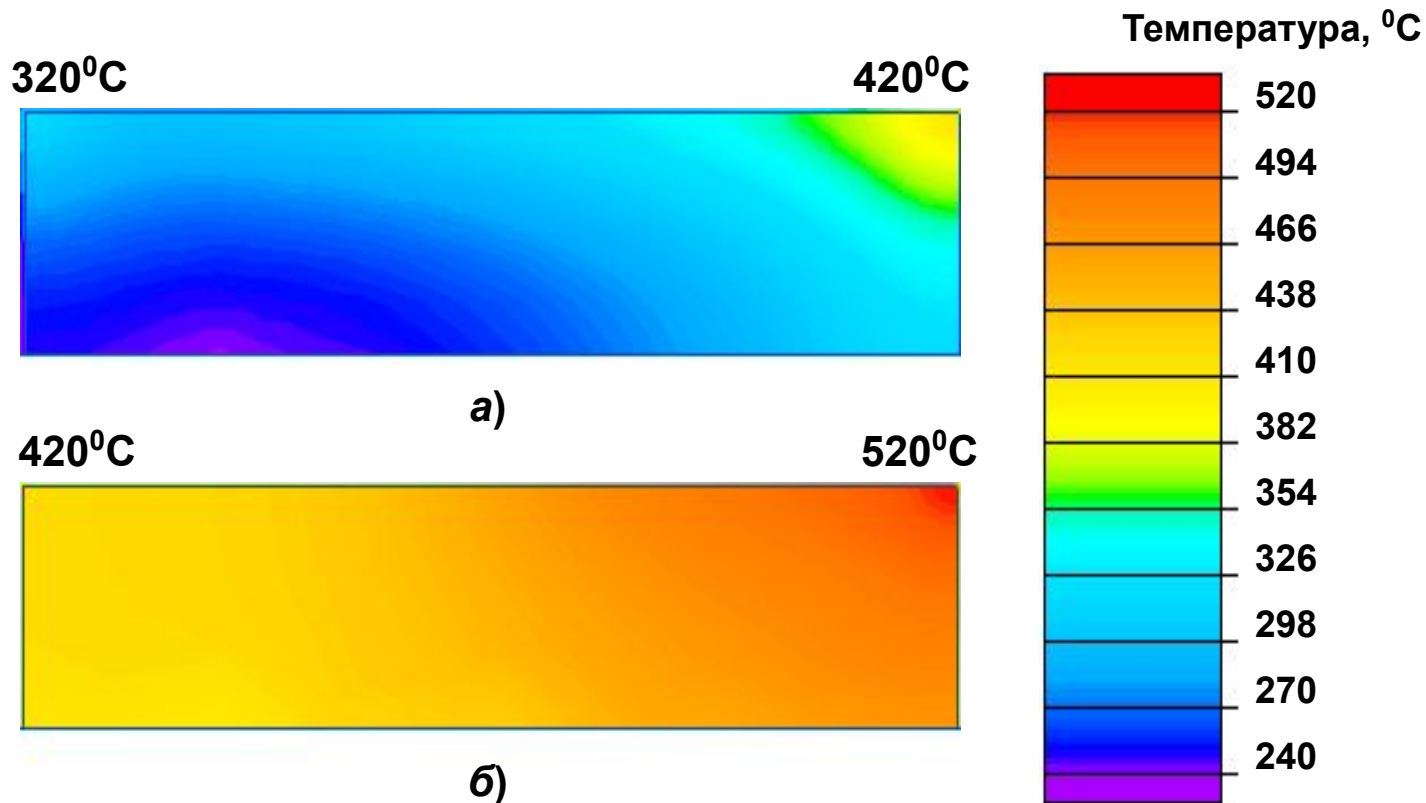
б)

$I_{\text{полн}} (10^7 \text{ A/m}^2)$



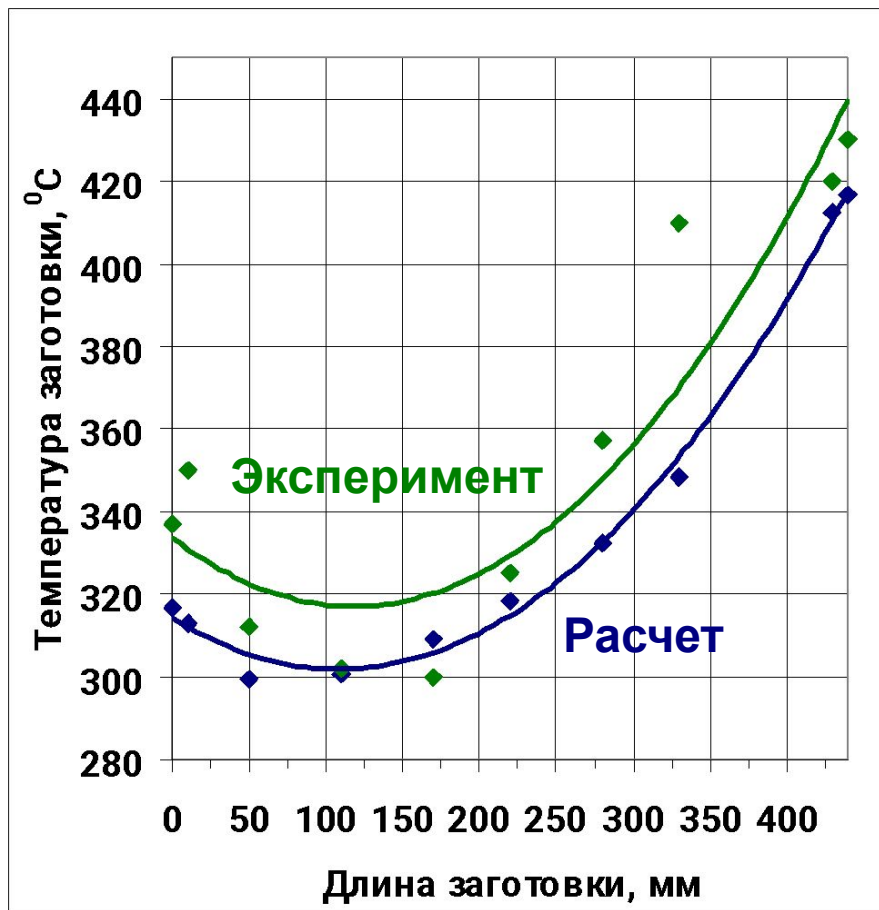


# Распределение температуры в заготовке при основном (а) и градиентном (б) нагреве



# Сравнение распределения температуры по длине заготовки

## Основной нагрев

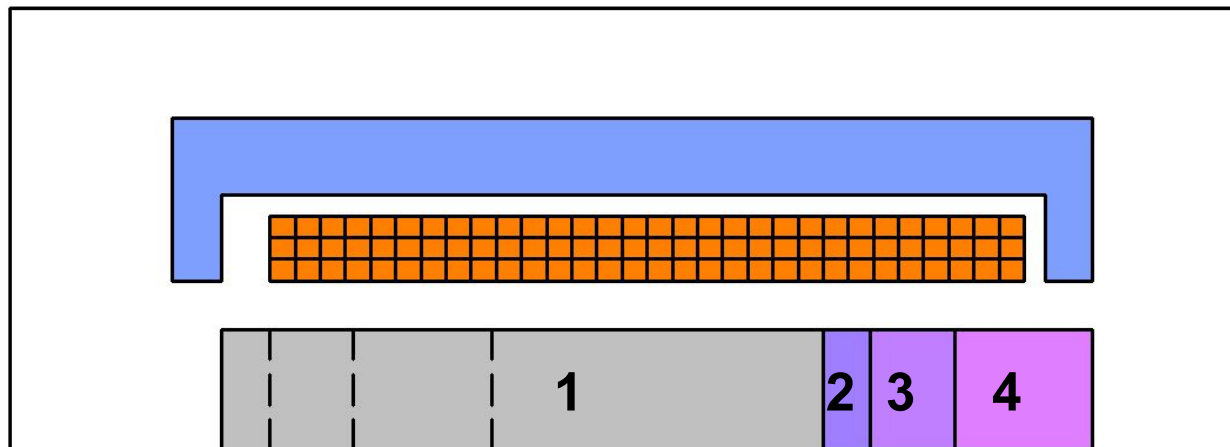


## Градиентный нагрев

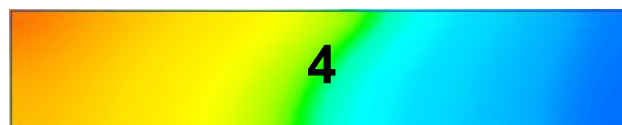
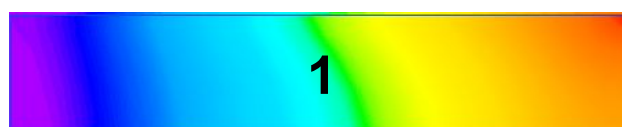


Погрешность  $\leq 10\%$ .

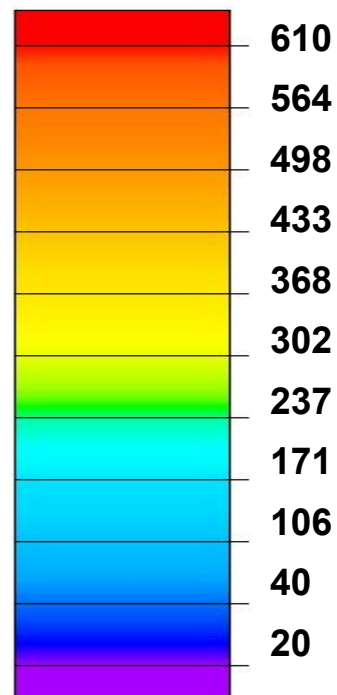
# Исследование установки в среде ELCUT



Распределение температуры в заготовке по позициям:

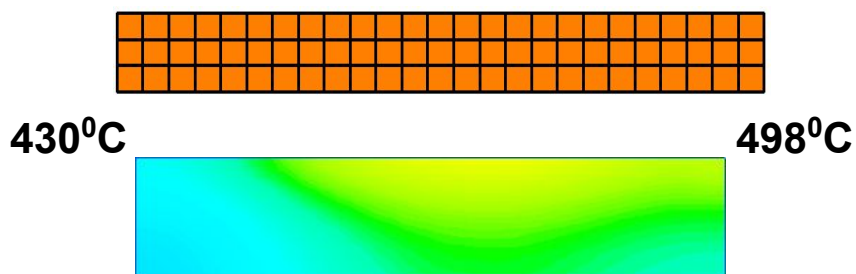


Температура, °C

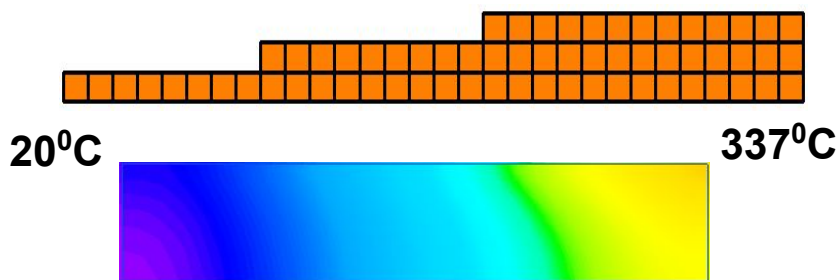


# Исследование формы индуктора

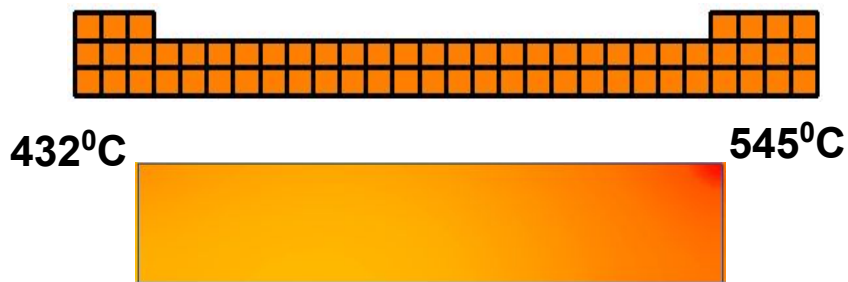
индуктор укороченный



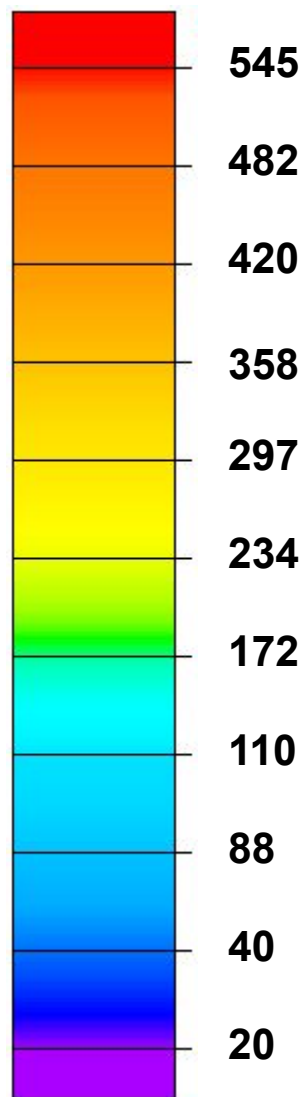
индуктор ступенчатый



индуктор 3 зоны



Температура, <sup>0</sup>C



# Разработка новых вариантов установки

## Вариант 1

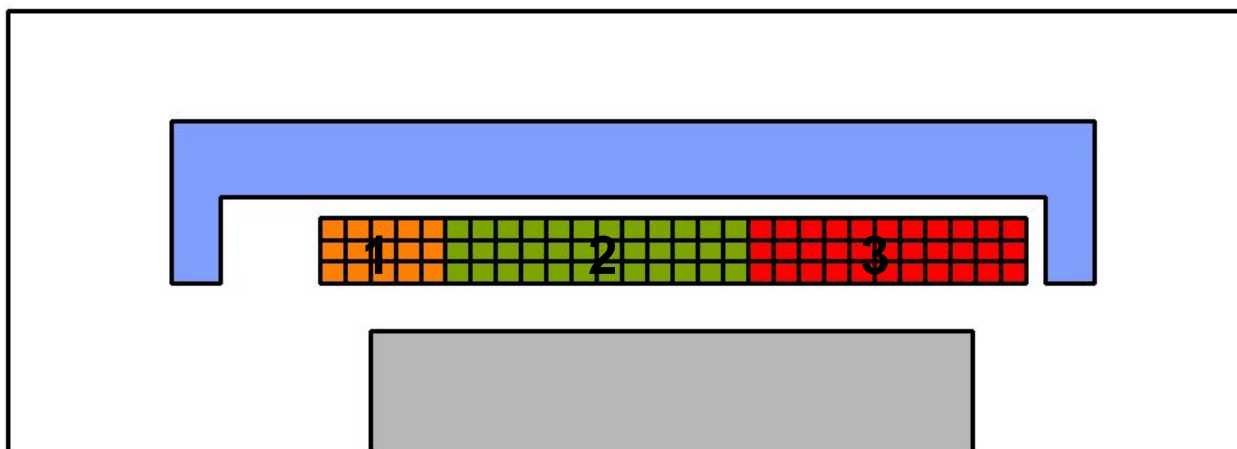
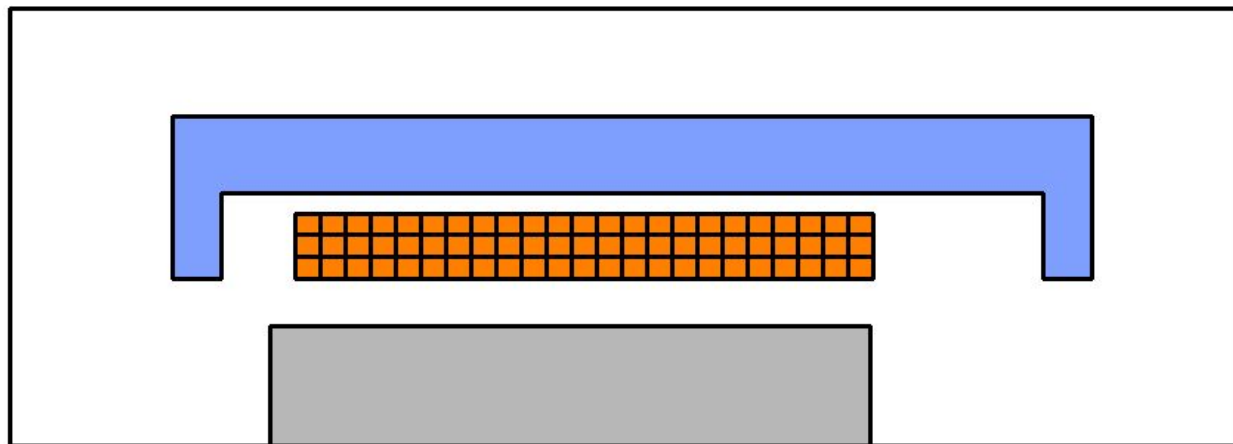
Время:  $t = 140$  с

Длина индуктора:

$L = 418$  мм

Число витков:  $W = 66$

Ток:  $I = 2540$  А



## Вариант 2

Время:  $t = 90$  с

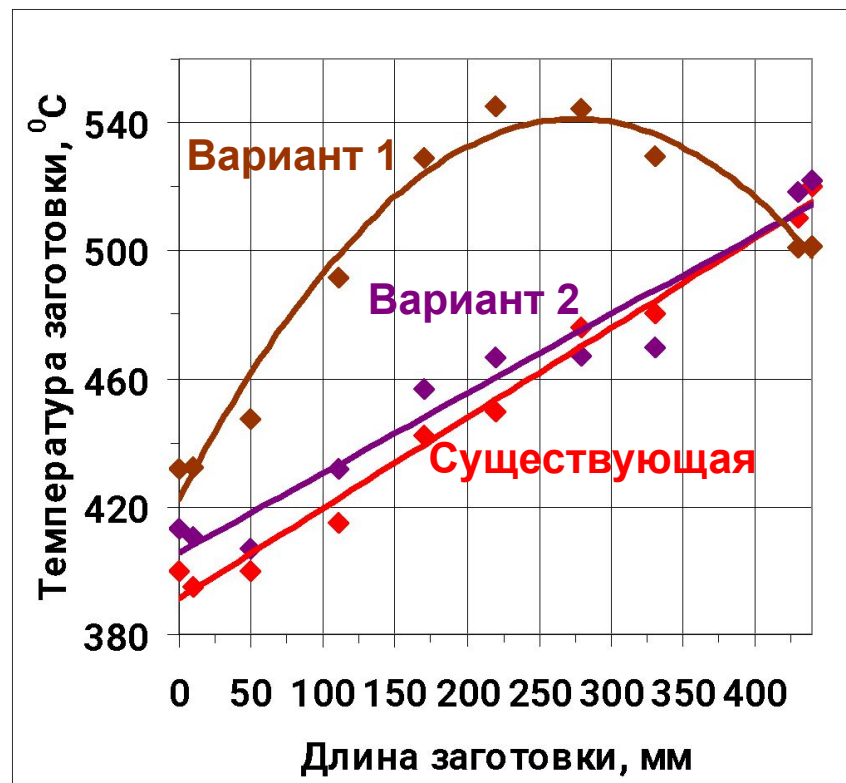
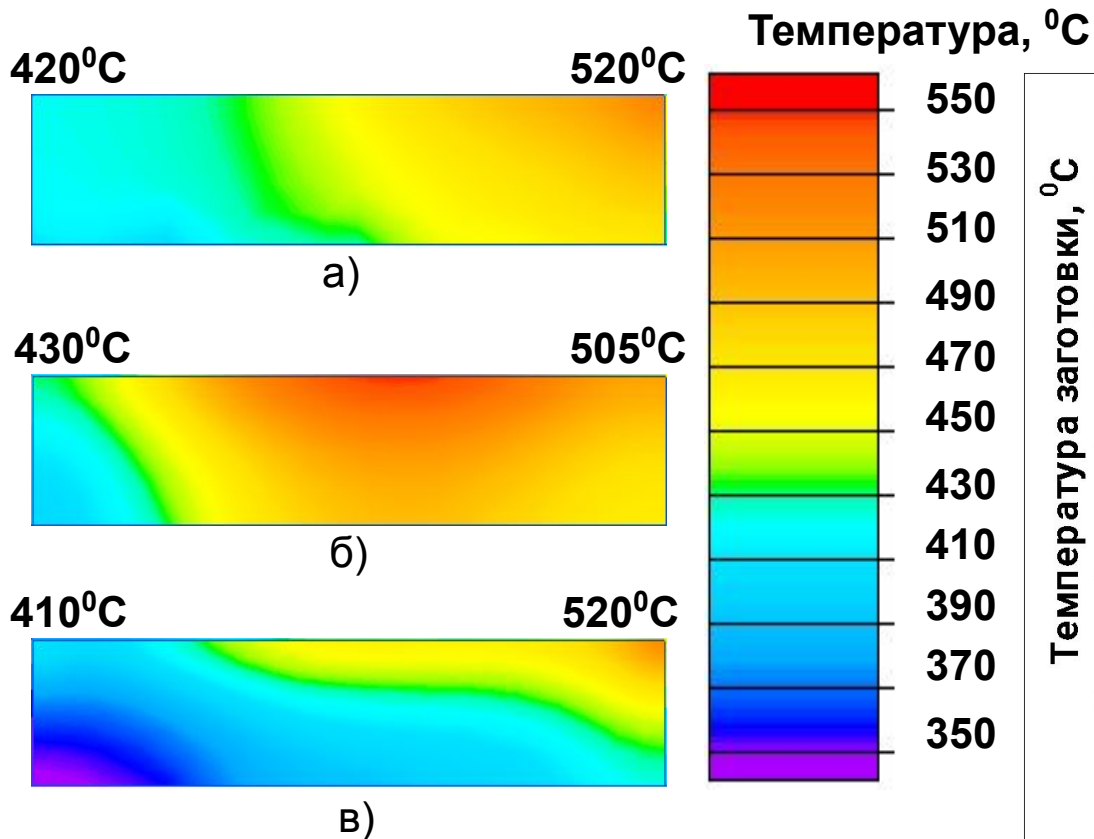
Длина индуктора:

$L = 513$  мм

Число витков:  $W = 84$

Параметры	Зоны индуктора		
	Зона 1	Зона 2	Зона 3
Кол-во витков, шт	15	36	33
Ток индуктора $I_u$ , 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