



**ЭТАЛОННАЯ ТРИЗ-ПЛОЩАДКА ООО «КРАМЗ»**  
РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ПРОЕКТОВ РУБИН М.С.

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТРИЗ В МЕТАЛЛУРГИИ  
НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА «ПОВЫШЕНИЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ  
ГОМОГЕНИЗАЦИИ»**

**РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА - АККУБЕКОВ П.А.  
НАСТАВНИК - КРАЕВ О.А.**

21 АВГУСТА 2020 Г.

## Проект «Повышение эффективности работы печей гомогенизации»

**Проблема:** Предприятие затрачивает большую сумму на покрытие расходов по электроэнергии. Печи гомогенизации (5 ед.) составляют львиную долю потребления электроэнергии плавильного цеха.

**Цель:** Снизить потребление электроэнергии.

### Обучение по ТРИЗ, участники от предприятия

1. Бахман В.О., специалист отдела главного энергетика.
2. Гусева М.В., специалист ЦЗЛ.
3. Резников М.Е. – начальник участка подготовки производства

### Консультант на предприятии

1. Копейкин А.Ю., руководитель ЦЗЛ, физик, в юности изучил основы ТРИЗ.

### Участники от Дирекции по ТРИЗ

1. Рубин М.С., руководитель группы проектов.
2. Краев О.А., руководитель проекта.
3. Аккубеков П.А., менеджер.



# **1. Предпроектный этап**

# Описание исходной ситуации

## 1-2

Таблица 1 – описание проблемы

<b>Дана система</b>	Печи гомогенизации №1-5
<b>Функция, выполняемая системой</b>	Нагреть алюминиевые слитки, заготовки до температуры ниже температуры солидуса на 50-80 °С, выдержать в течение некоторого времени.
<b>Что нужно улучшить</b>	Снизить удельный расход электроэнергии печи.
<b>Система состоит из элементов</b>	Корпус печи (стены, перекрытие), дверь печи с выкатным подом, вентиляторы, нагревательные элементы, свод.
<b>Объект обработки системы</b>	Алюминиевые слитки, заготовки (разрезанные слитки) разных сплавов, диаметров, длины.
<b>При работе системы возникает нежелательный эффект (НЭ):</b>	НЭ1: Высокое потребление электроэнергии на тонну продукции. НЭ2: Низкий показатель надежности нагревательных элементов.

## Описание исходной ситуации

## 2-2

Продолжение таблица 1 – описание проблемы

<p><b>Предполагаемая причина НЭ:</b></p>	<p>НЭ1: Большие тепловые потери. НЭ2.1: Перекос фаз нагревательных элементов при выходе из строя одного нагревательного элемента.</p>
<p><b>Задачу пытались решить следующим образом:</b></p>	<p>1. Форсировать нагрев печи. 2. Изменить конструкцию печи для открывания двери вверх с последующим закрыванием после выезда пода.</p>
<p><b>При таком решении возникал недостаток:</b></p>	<p>1.1 Повышенный износ нагревательных элементов. 1.2 Требуется дополнительный человек или изменение АСУ печи; 2.1 Неплотное прилегание двери к печи.</p>
<p><b>Недостаток требуется устранить при ограничениях:</b></p>	<p>1. Отсутствие документации по приборам учёта. 2. Без изменения принципиальной конструкции печи и принципа действия.</p>

# Дорожная карта проекта



## Конструкция печи гомогенизации СДО-35

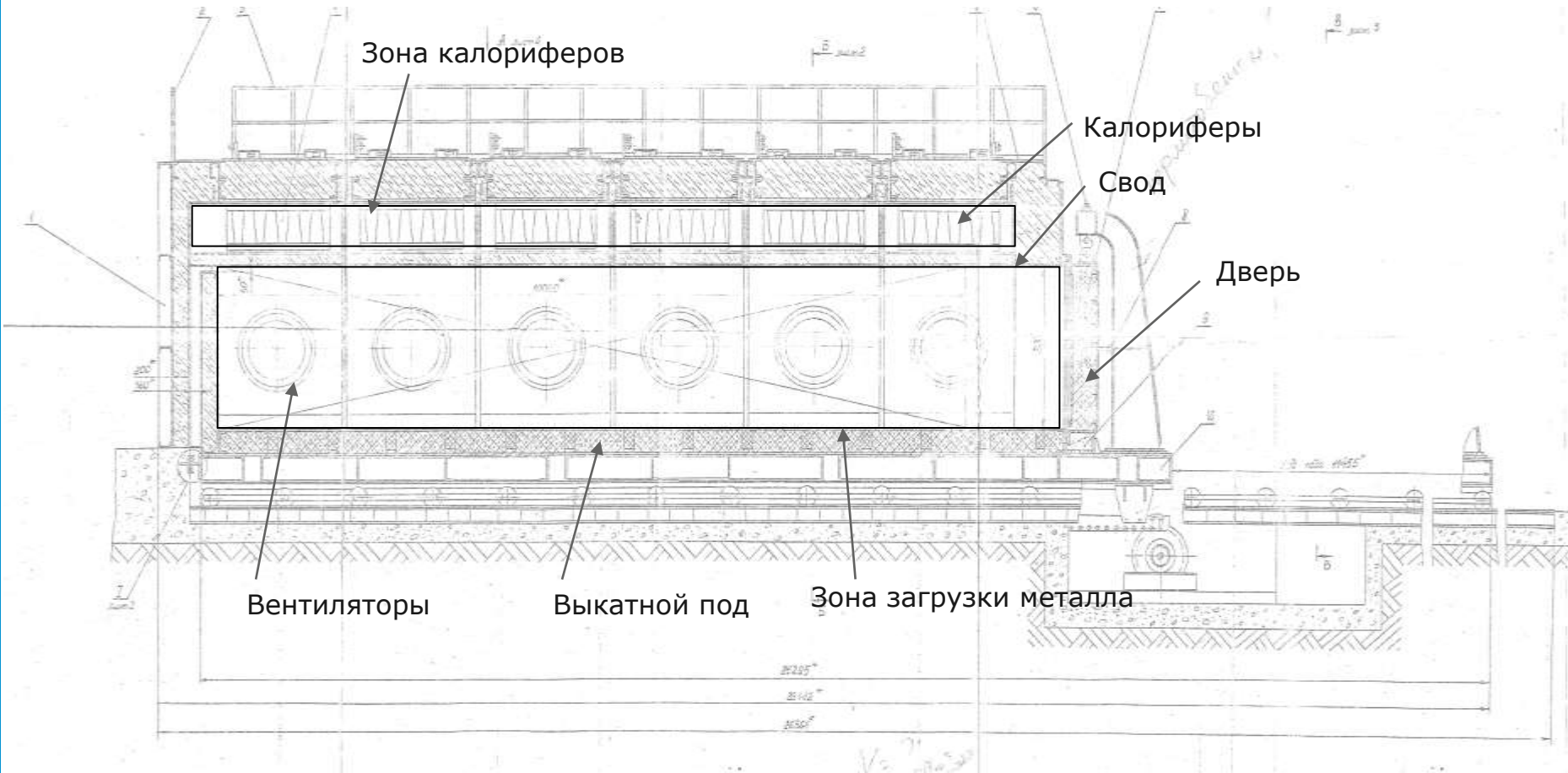


Рисунок 2 – печь гомогенизации. Вид справа.



## Вентиляторы

Центробежные вентиляторы вмонтированы в печь для обеспечения принудительной циркуляции воздуха внутри печи.



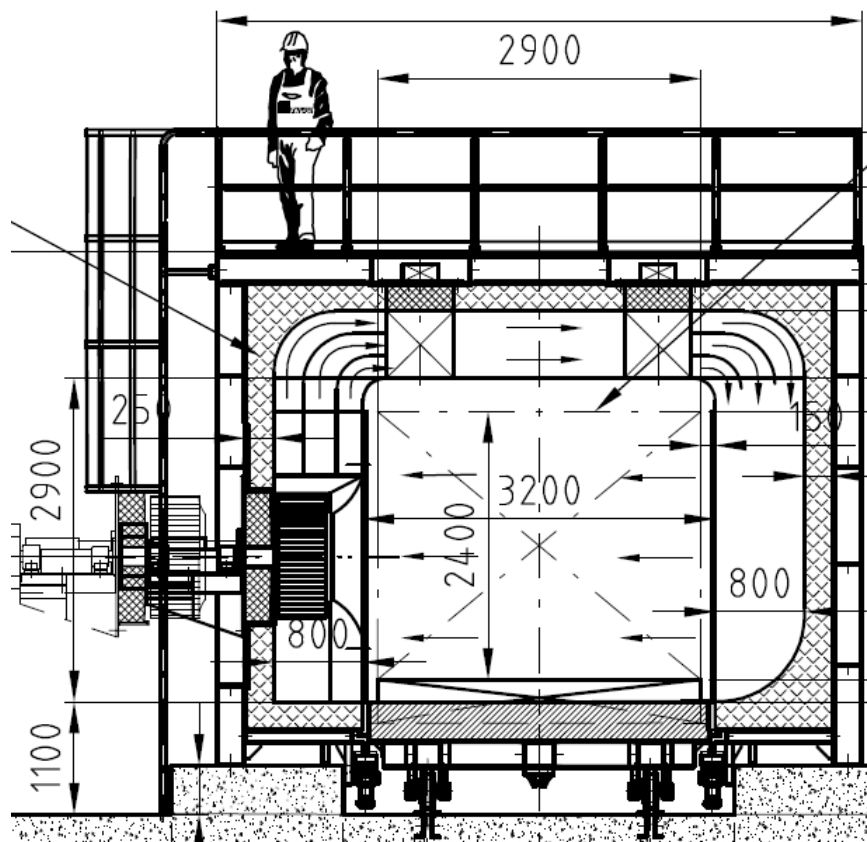
Рисунок 3 – центробежные вентиляторы



Рисунок 4 – вентилятор в печи



# Циркуляция воздуха в печи



Внутренние секции печи служат для направления движения горячего воздуха, выполнены из жаропрочной стали.

# Нагревательные элементы



Рисунок 5 - Калориферы



Рисунок 6 – Расположение колориферов на своде печи

Калориферы устанавливаются в специальные проемы на своде. Каждый калорифер состоит из теплоизолированной пробки с прикрепленными к ней секциями с нагревателями из ленточного нихрома 1.5\*30.

## **2. Аналитический этап**

# Компонентно-структурный анализ. Матрица взаимодействий элементов.

	Корпус печи	Дверь печи с выкатным подом	Вентиляторы	Нагревательные элементы	Свод	Воздух в печи	Воздуховод	Воздух в цехе	Заготовки, столбы	Стеллаж
Корпус печи		-	+	+	-	+	+	+	-	-
Дверь печи с выкатным подом	-		-	-	+	+	+	+	-	+
Вентиляторы	+	-		-	-	+	+	+	+	+
Нагревательные элементы	+	-	-		+	+	-	+	-	-
Свод	-	+	-	+		-	+	-	+	+
Воздух в печи	+	+	+	+	+		+	-	+	+
Воздуховод	+	+	+	+	+	+		-	+	+
Воздух в цехе	+	+	+	-	-	+	-		-	-
Заготовки, столбы	-	-	-	-	-	-	-	-		+
Стеллаж	-	+	-	-	-	-	+	-	+	

## Функциональная модель печи (фрагмент)

Носитель функции	Функция			Тип	Уровень выполнения
	Действие	Объект функции	Параметр		
Корпус печи	Удерживает	Вентиляторы	Координата	П	Адекватная
	Удерживает	Нагреватели	Координата	П	Адекватная
	Удерживает	Свод	Координата	П	Адекватная
	Удерживает	Футеровка	Координата	П	Адекватная
	Удерживает	Воздуховод	Координата	П	Адекватная
	Удерживает	Воздух в печи	Координата	П	Недостаточная
	Нагревает	Воздух в цехе	Температура	Вр	
Дверь печи с выкатным подом	Нагревает	Свод	Температура	Вр	
	Охлаждает	Воздух в печи	Температура	Вр	
	Нагревает	Воздуховод	Температура	Вр	
	Нагревает	Воздух в цехе	Температура	Вр	
	Удерживает	Стеллаж	Координата	П	Адекватная
	Нагревает	Стеллаж	Температура	Вр	
Вентиляторы	Нагревают	Корпус печи	Температура	Вр	
	Перемещают	Воздух в печи	Координата	П	Адекватная
	Перемещают (всасывают)	Воздух в цехе	Координата	Вр	
	Нагревают	Стеллажи	Температура	Вр	
	Нагревают	Заготовки, столбы	Температура	П	Недостаточная
	Охлаждают	Воздух в печи	Температура	Вр	
Нагревательные элементы	Нагревают	Корпус печи	Температура	Вр	
	Нагревает	Воздух в печи	Температура	П	Недостаточная
	Нагревают	Свод	Температура	Вр	
	Нагревает	Воздух в цехе	Температура	Вр	

### Обозначения:

П – полезная функция; Вр – вредная функция

# Результаты функционального анализа

Количество функций по уровням выполнения.

Полезные, основные функции	Полезные, вспомогательные функции	Вредные функции
1	14	34

Статистика функций.

Количество функций с адекватным уровнем выполнения	Количество функций с недостаточным уровнем выполнения
9	5

## Сформулированные задачи по устранению вредных функций (фрагмент):

1. Как сделать так чтобы корпус печи не нагревал воздух в цехе?
2. Как сделать так чтобы дверь печи с выкатным подом не охлаждала воздух в печи?
8. Как сделать так чтобы вентиляторы не перемещали (всасывали) воздух из цеха в печь?
9. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал корпус печи?
18. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал дверь печи с выкатным подом?
19. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал свод?
22. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал стеллаж?

Полный список задач из функционального анализа - 30 задач.

## Механизм захлаживания печи из-за всасывания воздуха по валу вентилятора

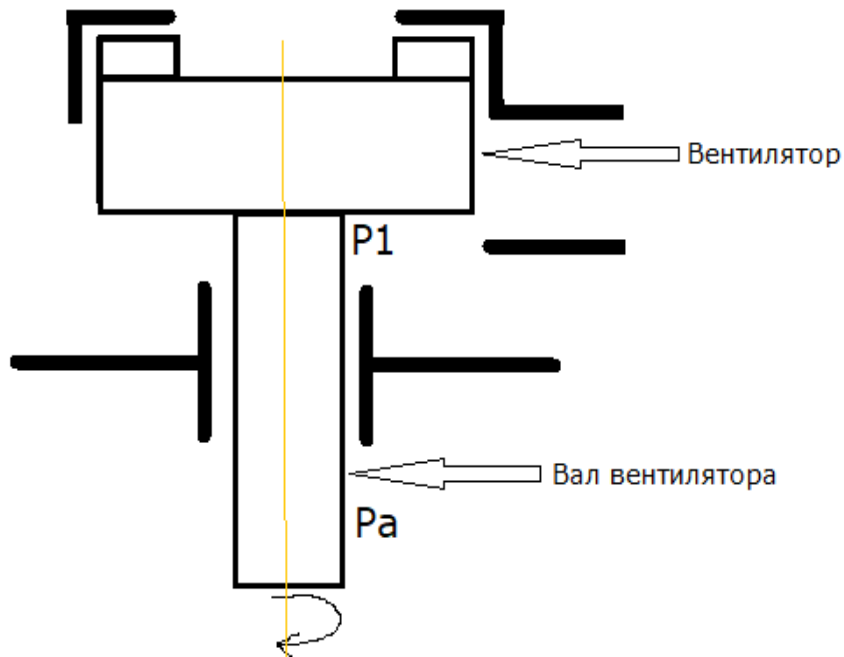


Рисунок – схема вентилятора

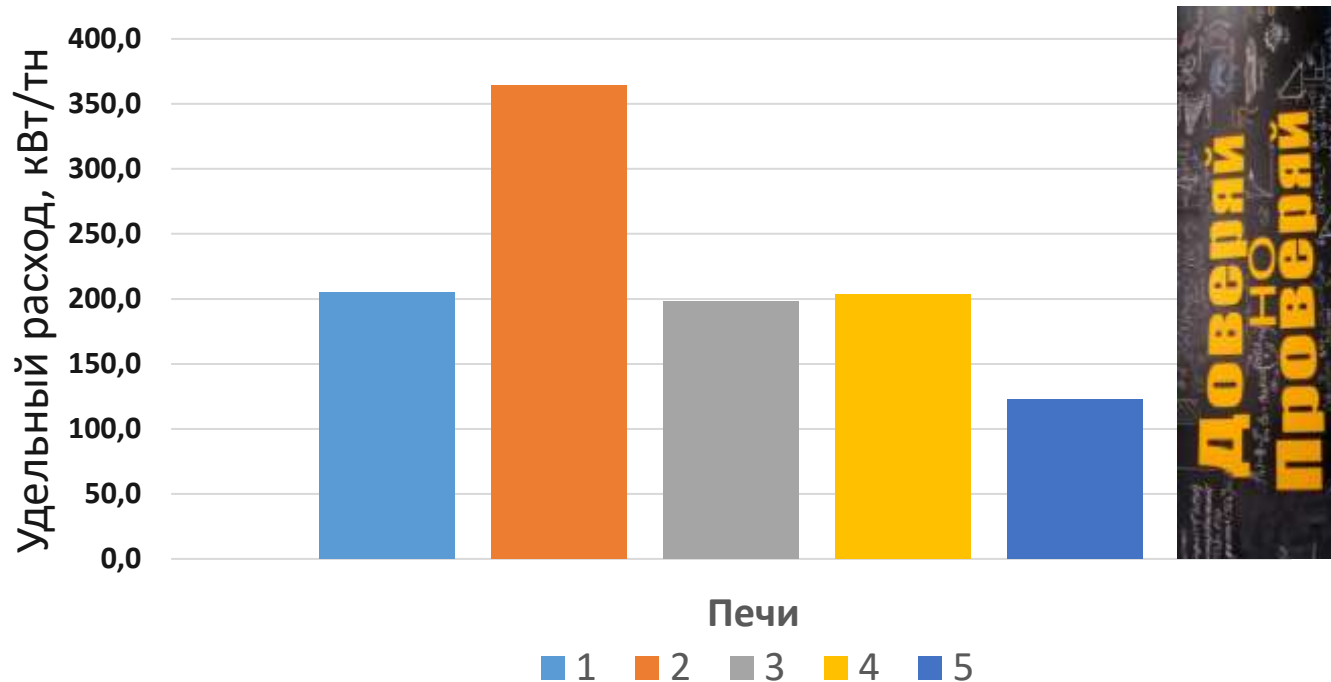
P1- давление на обратной стороне вентилятора;  
 Pa – атмосферно давление в цехе.

Во время вращения диска вентилятора на обратной стороне диска образуется зона пониженного давления.

Т.к.  $P_a > P_1$  воздух начинает перемещаться из области высокого давления в область низкого давления вытесняя нагретый воздух из печи в местах плохого примыкания.

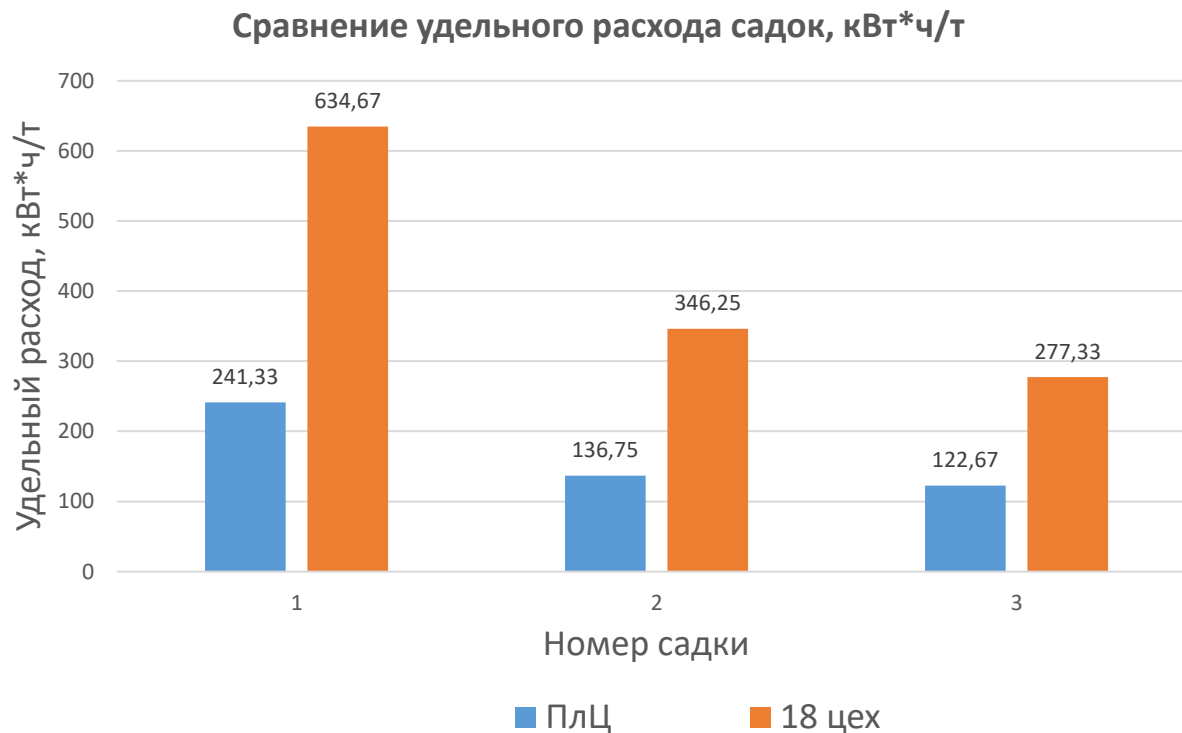


# Средний удельный расход энергии печей 1-5 за 7 месяцев 2019 г.



Норматив удельного расхода **450 кВт\*ч/т**. Теоретический расчет энергии необходимой для нагрева алюминиевого слитка массой 1 тонна с 20 до 500°C при нулевых тепловых потерях составляет **137 кВт\*ч/т**. Средний показатель удельного расхода **печи №5 123,1 кВт\*ч/т**. Возникли подозрения в некорректности показаний счетчиков.

# Сравнение показаний счетчиков печи №1 ПлЦ и цеха №18



В результате сверки приборов учета ПлЦ и цеха №18 обнаружено расхождение в показаниях 2,6 раз.

Реальный удельный расход составил **печь № 1 – 500 кВт\*ч/т, №2 - 510 кВт\*ч/т**

## Потоковый анализ. Режимы печи.

- **Режим нагрева.** Режим, во время которого происходит нагрев садки до температуры гомогенизации. Нагреватели печи работают на полную мощность.  
Затрачиваемое время (среднее) для гомогенизации - 12 часов.
- **Режим гомогенизации.** Режим, во время которого происходит уменьшения внутрикристаллической ликвации легирующих элементов. Затрачиваемое время для гомогенизации разных сплавов варьируется от 8 до 24 часов.
- **Режим выгрузки печи.** Режим, во время которого происходит выгрузка металла из печи с дальнейшим остыванием металла на воздухе. Во время выгрузки металла из печи происходит остывание печи, так как дверь выезжает вместе с подом (особенности конструкции печи).

# Потоковый анализ. Методика оценки тепловых потерь.

Проводилась тепловизионная съемка печи в режимах нагрева, выдержки и выгрузки.

По снимкам определена температура на элементах печи.

В режиме «выгрузка» определена температура пода, стеллажей, воздухопроводов.

Выявлены зоны наибольших тепловых потерь, проведен расчет конвективных и инфракрасных потерь.

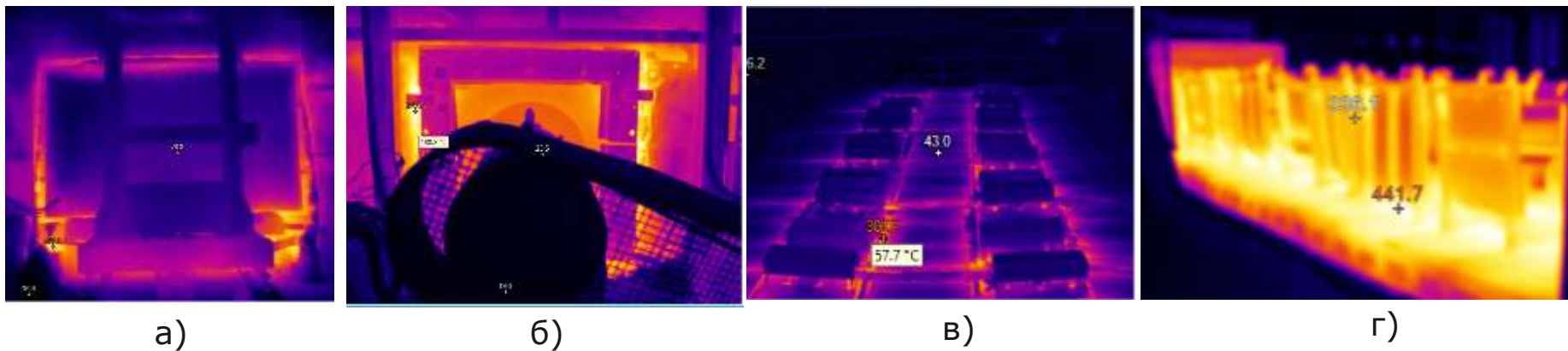
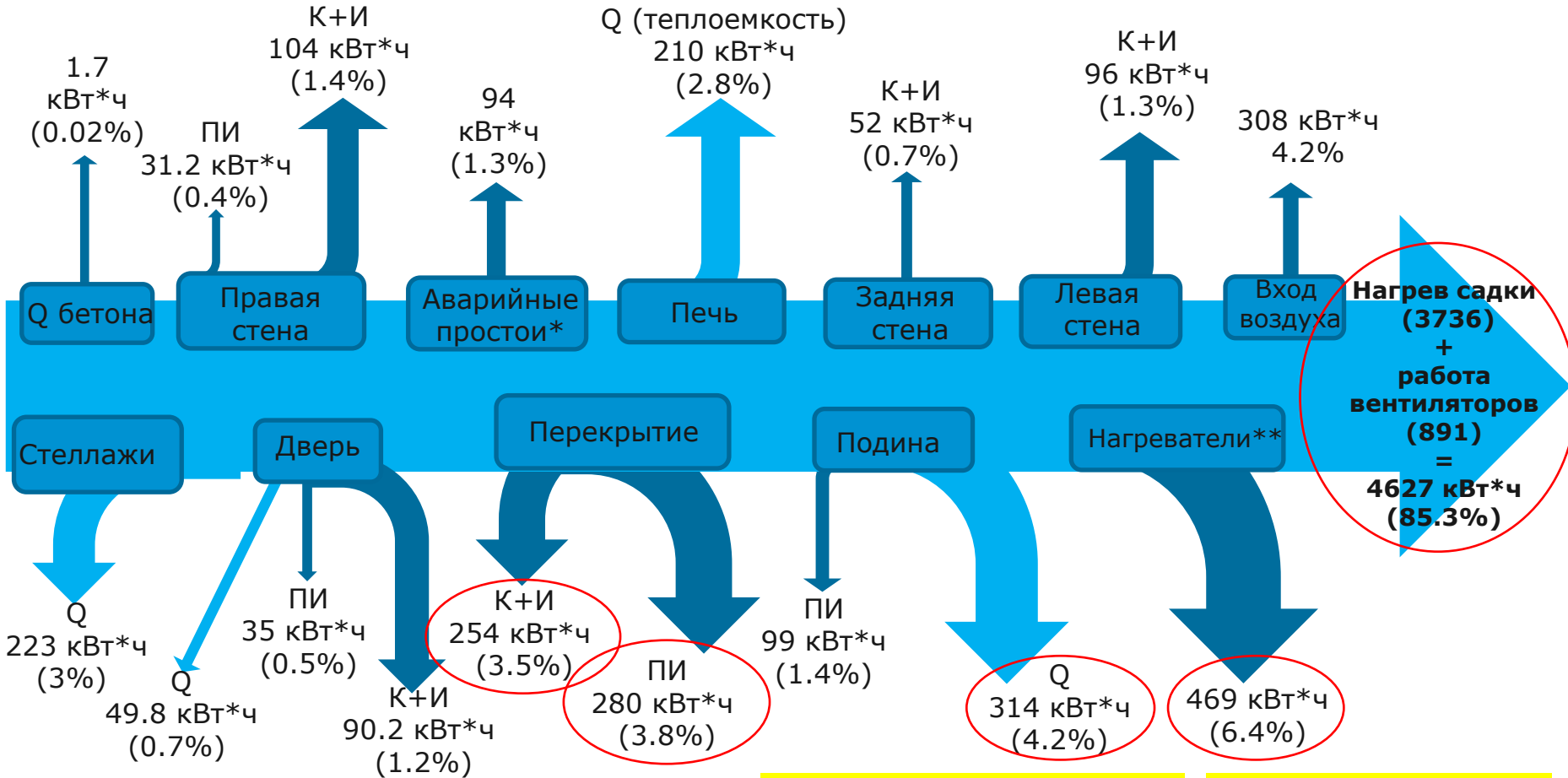


Рисунок 7 – тепловизионная съемка  
 а) дверь б) вентилятор в) перекрытие г) под после выгрузки пода

# Тепловые потери печи за время режима нагрева (12 часов)

\*экспертная оценка  
 \*\*расчетная величина

**1 кВт\*ч = 2,7 руб.**

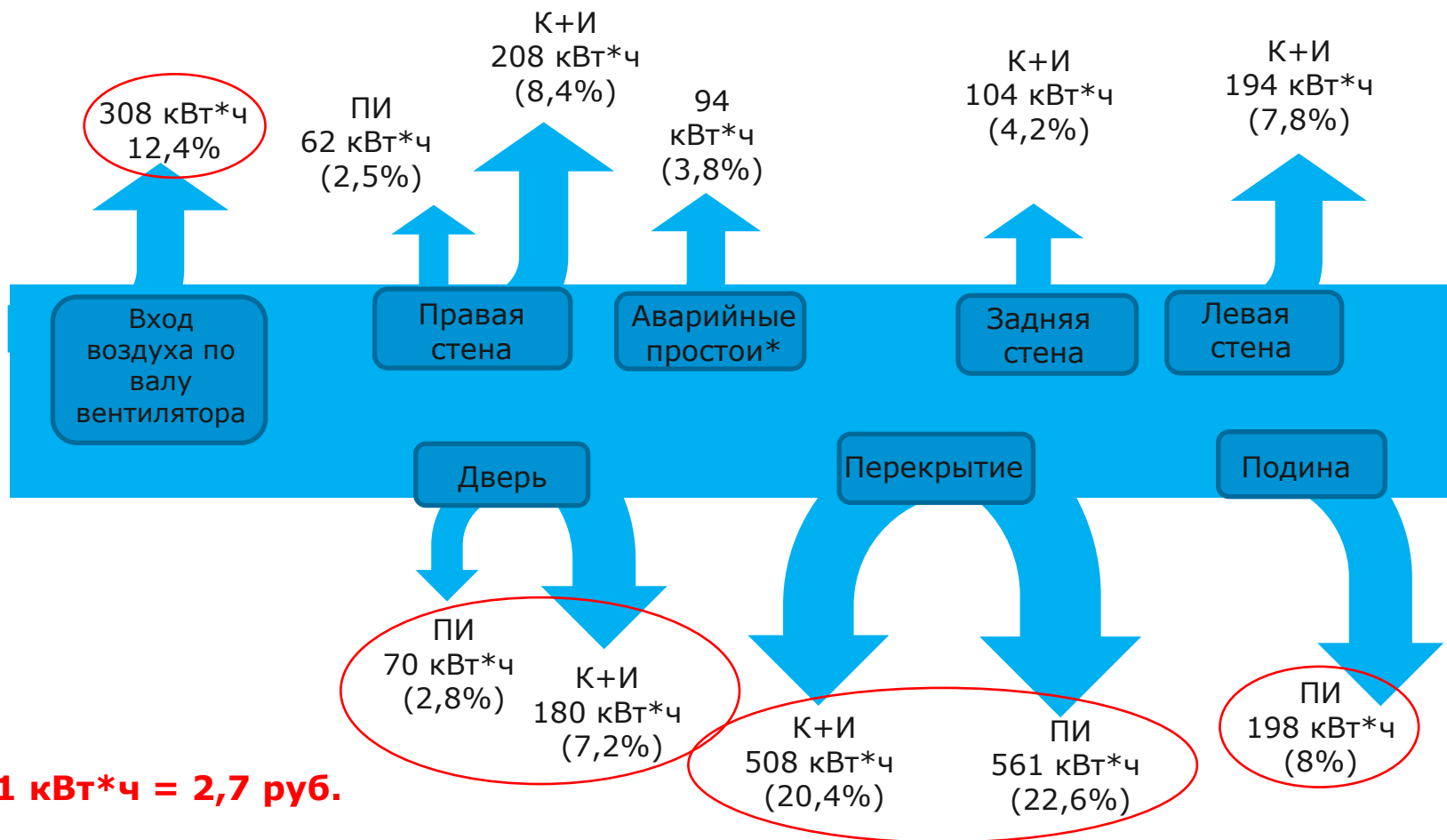


**Обозначения:**  
 К+И – потери конвективные и излучением.  
 ПИ – зоны повышенного излучения тепловой энергии.

**Тепловые потери:**  
**2711.8 кВт\*ч**

**Сумма:**  
**7 338.5 кВт\*ч**

# Тепловые потери печи за время режима гомогенизации (13 часов)



**1 кВт\*ч = 2,7 руб.**

### Обозначения:

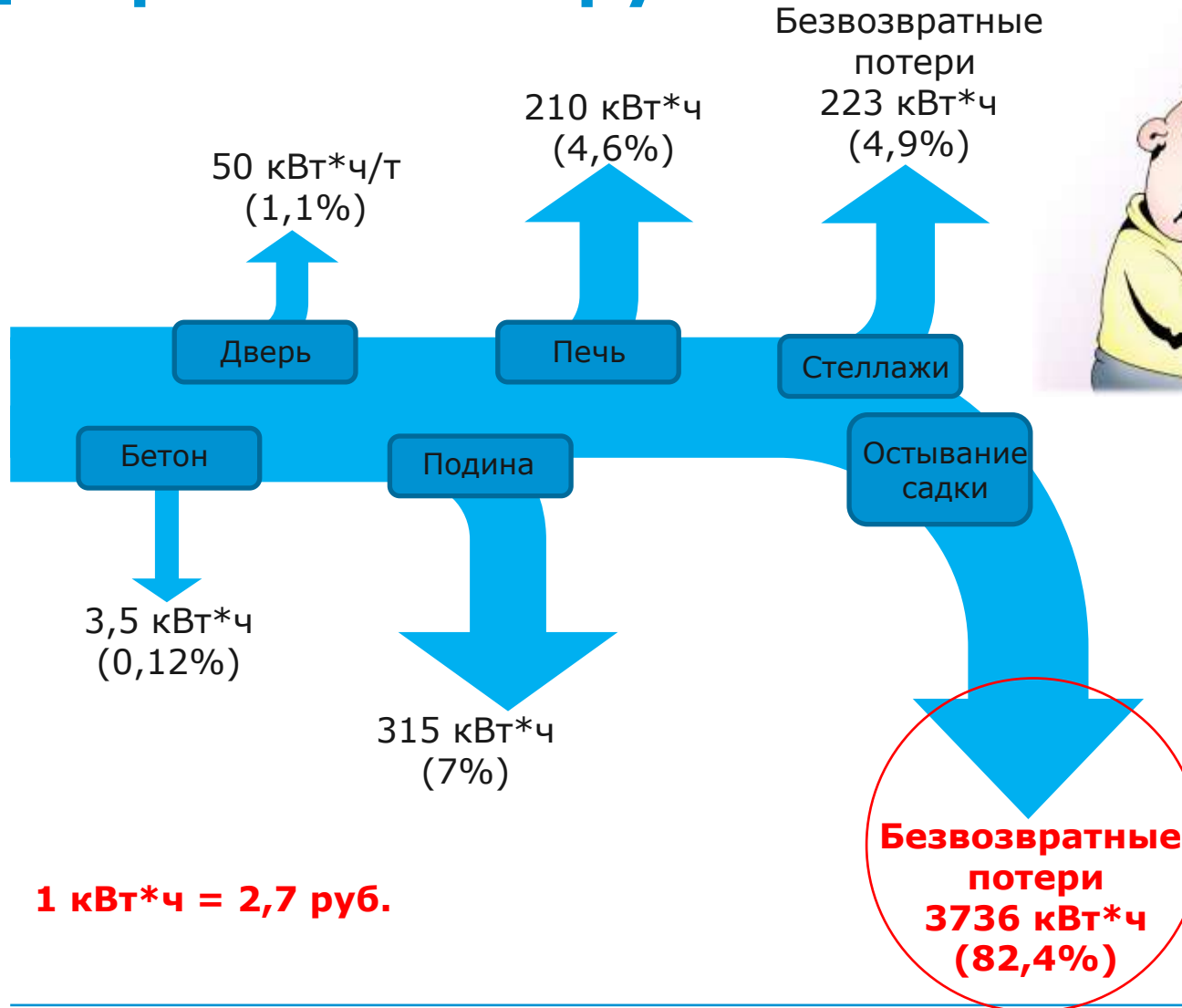
К+И – потери конвективные и излучением.

ПИ – зоны повышенного излучения тепловой энергии.

\*экспертная оценка

**Тепловые потери:  
2177,1 кВт\*ч**

# Тепловые потери печи во время режима выгрузки

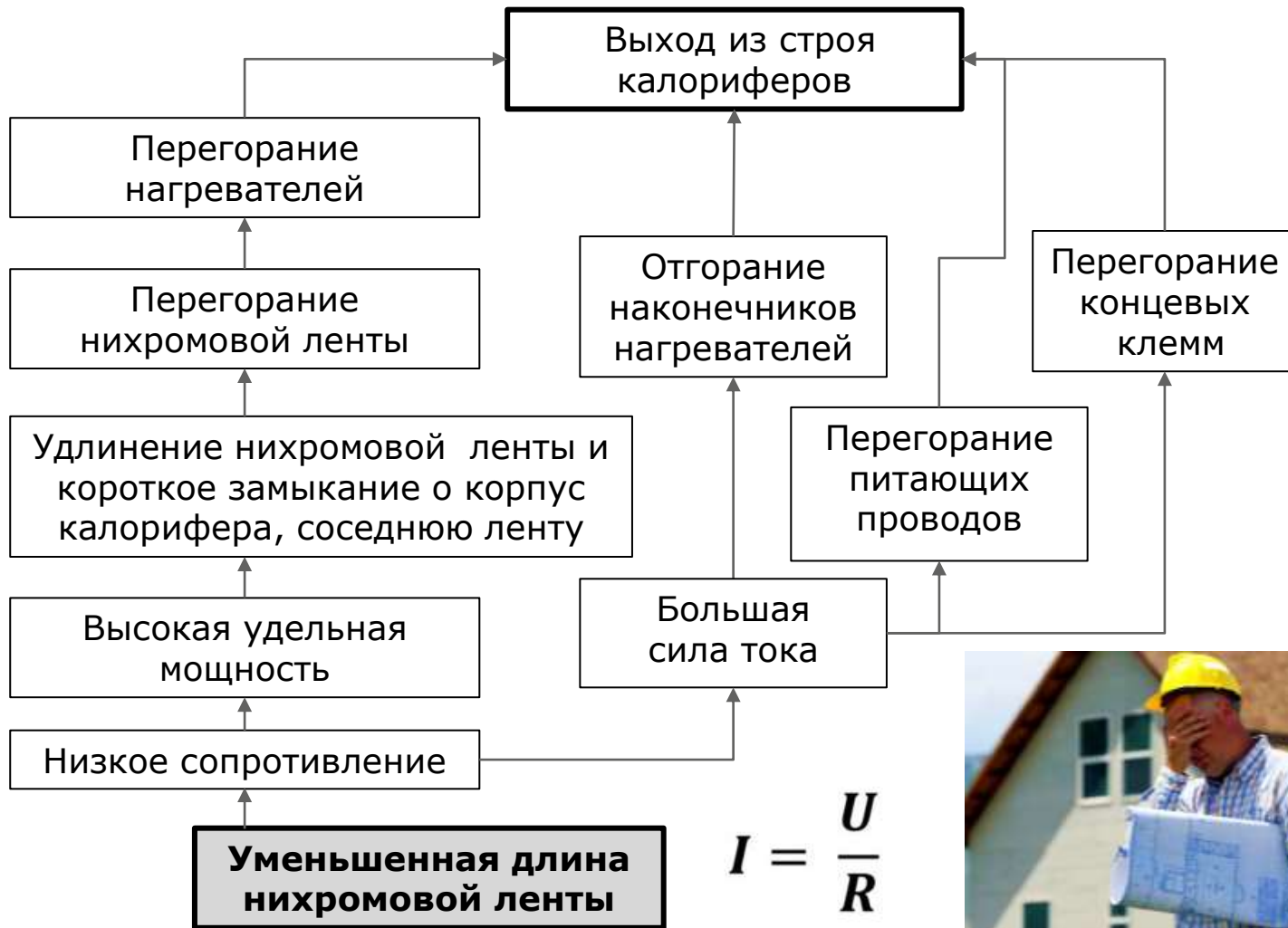


## Неочевидная ключевая задача:

Как исключить потери тепла при остывании садки?



# Причинно-следственный анализ выхода из строя калориферов



$$I = \frac{U}{R}$$



# Ключевые задачи проекта

Функциональный анализ выявил

**30 ключевых задач.**

Потоковый анализ выявил

**19 ключевых задач.**

Параметрический анализ выявил

**5 ключевых задач, связанных с нагревателями.**

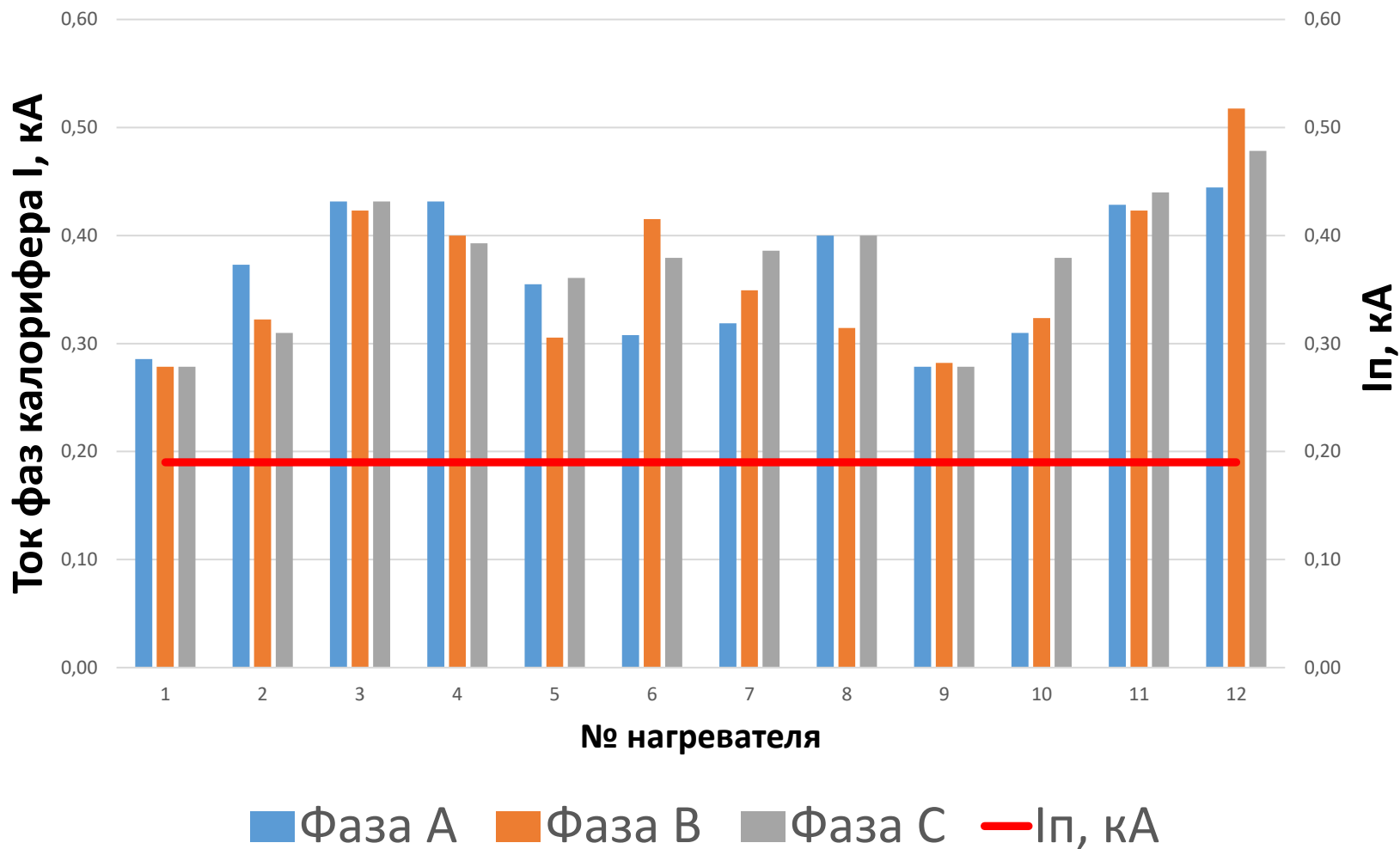
Всего аналитический этап выявил **54 ключевые задачи.**



# Измерение омического сопротивления фаз на калориферах печи



# Расчет тока фаз калориферов печи гомогенизации



# Фото токоподводящих проводов и клем

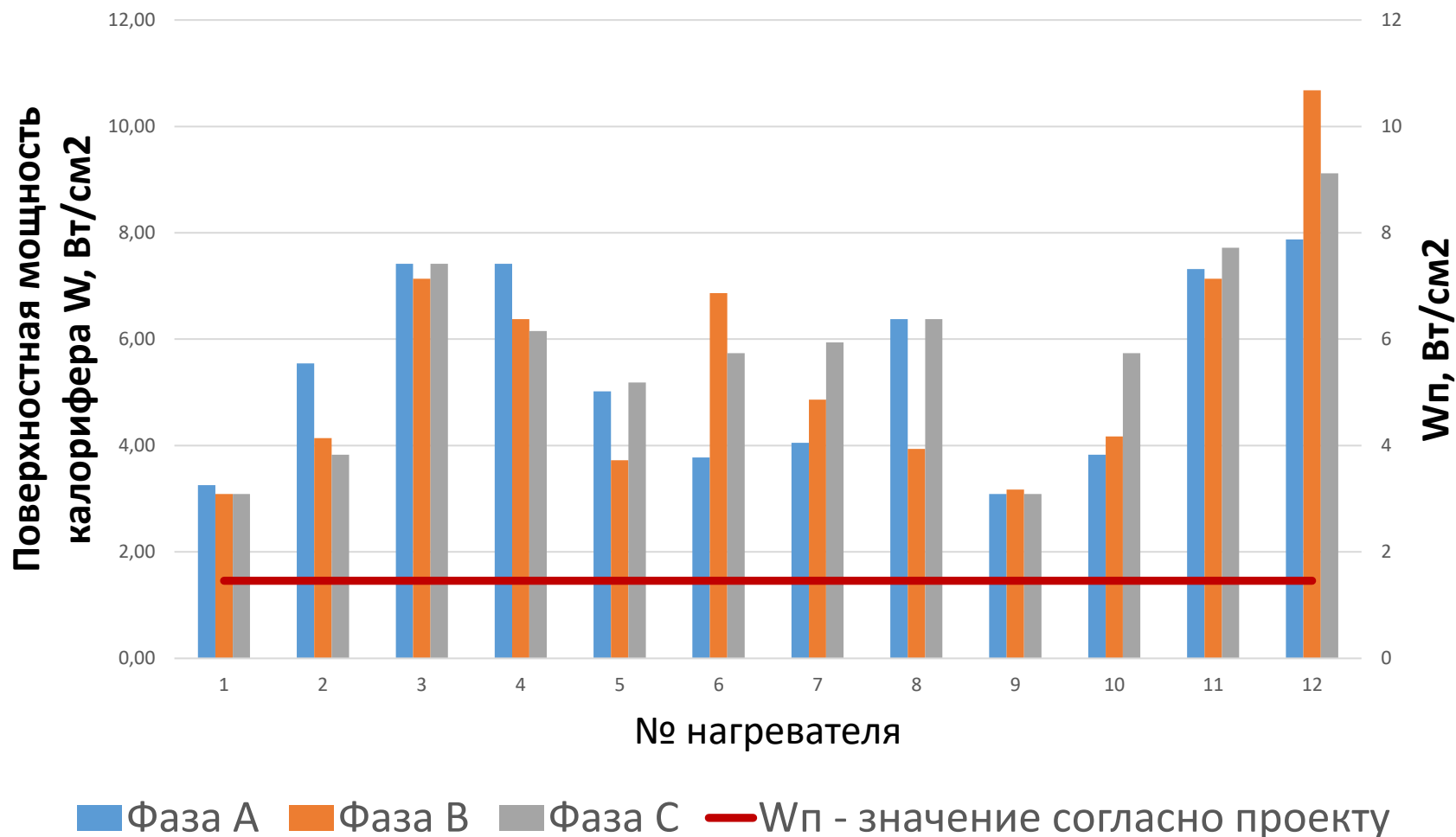


Рисунок 8-Следы перегрева зоны контакта  
(почернение клемм и жил кабеля, обгорание изоляции, приварка контактного узла)



Рисунок 9-Состояние контактных узлов нагревательных элементов  
(на левом снимке отсутствует стяжной болт, фиксация узла на стержне за счет сварки)

# Удельная (поверхностная) мощность $W$ калориферов печи



## Фото нихромовой ленты калориферов



а)



б)

Рисунок 10 - а) многократная «подтяжка» ленты при ремонтах  
б) сварка перегоревшей ленты «внахлест»



## Выводы из параметрического анализа

В результате измерения омического сопротивления калориферов печи гомогенизации, проведенных расчетов выявлено несоответствие технических параметров, указанных в проекте с реальными параметрами печи.

Превышение удельной мощности нагревателя  $W$  в сравнении с проектной  $W_p$  в 2.1-7.3 раза.

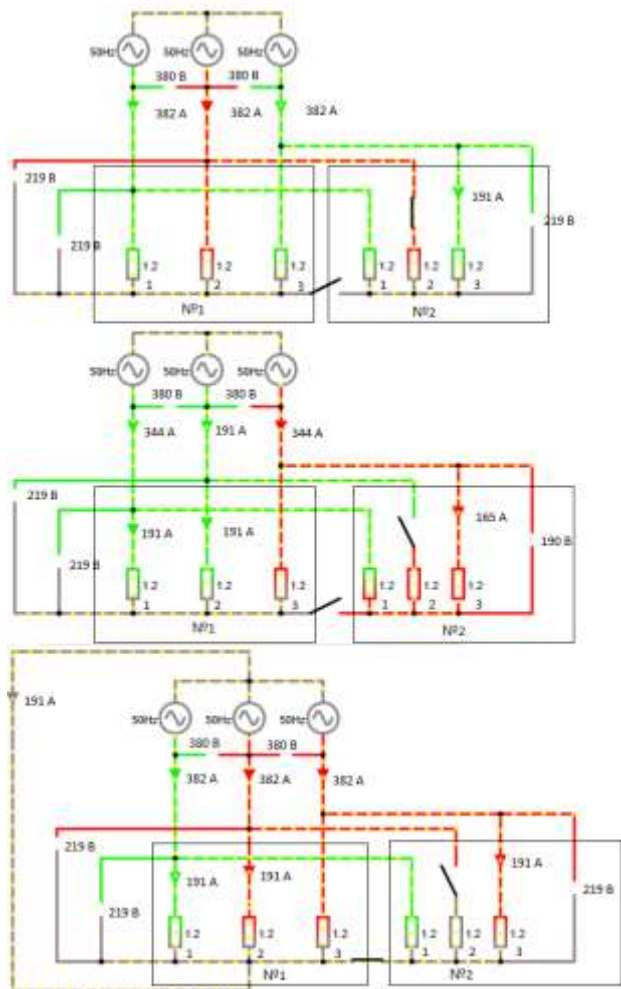
Подготовлен технический отчет техническому директору для приведения параметров калориферов к проектным значениям.

## **3. Концептуальный этап**

# Список направлений решения

- 1. Совмещение операций отжига и гомогенизации для цинковой группы (225 т/мес) и сплава Д16 (165 т/мес), диаметры столбов 320-517.**
- 2. Сокращение времени выхода печи на режим гомогенизации.**
  - 2.1. Применение современных футеровочных материалов для снижения тепловых потерь элементов печи (перекрытие, стены, примыкания нагревателей, дверь, зоны ввода термопар и вентиляторов, под), модернизация песочного затвора.
  - 2.2. Приведение параметров нагревателей в соответствии с проектными значениями.
  - 2.3. Модернизация схемы управления мощностью печи в случае выхода из строя нагревателей.
- 3. Рекуперация тепла от горячей садки (прошедшей гомогенизацию) к холодной.**

# Перекоммутация калориферов печи при перегорании одного нагревательного элемента



Элементы	Полностью исправленные нагревательный элементы				250974	
	I, A	U, В	P, кВт	P, нагрев		
<b>Нагреватель №1</b>						
1	191	219	41829	125487	250974	
2	191	219	41829			
3	191	219	41829			
<b>Нагреватель №2</b>						
1	191	219	41829	125487		250974
2	191	219	41829			
3	191	219	41829			

Элементы	Неисправен 1 эл. в калорифере №2				188187	
	I, A	U, В	P, кВт	P, нагрев		
<b>Нагреватель №1</b>						
1	191	219	41829	125487	188187	
2	191	219	41829			
3	191	219	41829			
<b>Нагреватель №2</b>						
1	165	190	31350	62700		188187
2	0	0	0			
3	165	190	31350			

Элементы	Неисправен 1 эл. в в калорифере №2 (4х проводная система)				209145	
	I, A	U, В	P, кВт	P, нагрев		
<b>Нагреватель №1</b>						
1	191	219	41829	125487	209145	
2	191	219	41829			
3	191	219	41829			
<b>Нагреватель №2</b>						
1	191	219	41829	83658		209145
2	0	0	0			
3	191	219	41829			

## Рекуперация тепла между садками

### Нежелательный эффект:

При остывании корзин с металлом безвозвратные потери составляют 3736 кВт\*ч

### Предложение:

Предлагается с целью снижения тепловых потерь передавать тепло от горячего гомогенизированного металла холодному. Для этого корзины выстраиваются на поде по принципу горячий-холодный-горячий. Включаются вентиляторы и тепло передается холодному металлу. По достижении выравнивания температур горячих и холодных корзин гомогенизированная садка выгружается, а оставшиеся корзины гомогенизируются согласно ТИ.





**Спасибо за внимание!**

[www.rusal.com](http://www.rusal.com)  
[www.aluminiumleader.com](http://www.aluminiumleader.com)

**Штаб-квартира в Москве:**

Россия, 121096, г. Москва  
ул. Василисы Кожиной, д.1,  
деловой центр «Парк Победы»  
Телефоны: +7 (495) 720-51-70  
                  +7 (495) 720-51-71  
Факс:           +7 (495) 745-70-46

**Для клиентских запросов:**

RUSAL Marketing GmbH,  
Metalli Center Baarerstrasse 22  
6300 Zug Switzerland  
Телефон: +41 (41) 560 98 00  
Факс:       +41 (41) 560 98 01  
E-mail:     info-zug@rusal.com