

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТРИЗ В МЕТАЛЛУРГИИ НА ПРИМЕРЕ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ.

Аккубеков П.А.^a, Краев О.А.^b.

^a АО «РУССКИЙ АЛЮМИНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ», Красноярск, 66011, Россия.

^b АО «РУССКИЙ АЛЮМИНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ», Красноярск, 66011, Россия.

Аннотация

В статье представлена часть результатов применения инструментов ТРИЗ для решения производственной задачи металлургического предприятия. Цель проекта: снижение удельного расхода электроэнергии печей гомогенизации, а также, повышение надежности нагревательных элементов печей (калориферов).

Ключевые слова: печь гомогенизации, удельный расход электрической энергии, нагревательные элементы, калориферы.

Abstract

The article presents the results of applying TRIZ tools in solving production problems of a metallurgical enterprise. Project goal: reduction of energy consumption of furnaces. Increase of reliability of heaters.

Keywords: homogenization furnace, specific consumption of electric energy, heating elements, heaters.

Введение

Основную роль в повышении технологичности слитков алюминиевых сплавов при обработке давлением (ковка, штамповка, прессование) играет гомогенизация литой структуры, которую проводят с целью уменьшения внутрикристаллической ликвации легирующих элементов, повышение однородности металла по химическому составу в пределах одного зерна, снятия литейных напряжений.

В плавильном цехе для термообработки слитков используется садочная печь СДО-35.100, в которой проводится гомогенизация партии слитков или литейных заготовок. Процесс циклический, упрощенно, его можно разбить на два основных этапа – нагрев садки до температуры гомогенизации и выдержка при этой температуре заданное время.

В результате гомогенизации садки возникают следующие нежелательные эффекты (НЭ):

НЭ 1: Повышенный удельный расход электрической энергии;

НЭ 2: Низкий показатель надежности нагревательных элементов (калориферов).

Предположительная причина возникновения НЭ:

НЭ 1: Большие тепловые потери;

НЭ 2: Перекок фаз нагревательных элементов при выходе из строя одного нагревательного элемента.

Задачу пытались решить путем:

1. Форсирования нагрева печи;
2. Изменением конструкции печи. Открытие двери вверх вместо выезда с подом.

При таких решения возникали недостатки:

- 1.1. Повышенный износ нагревателей;
- 1.2. Требуется дополнительный человек или изменение АСУ печи;

2.1 Неплотное прилегание двери к печи.

В начале проекта составлена дорожная карта с целью планирования работ, определения применяемых инструментов ТРИЗ, определения результатов применения инструментов.

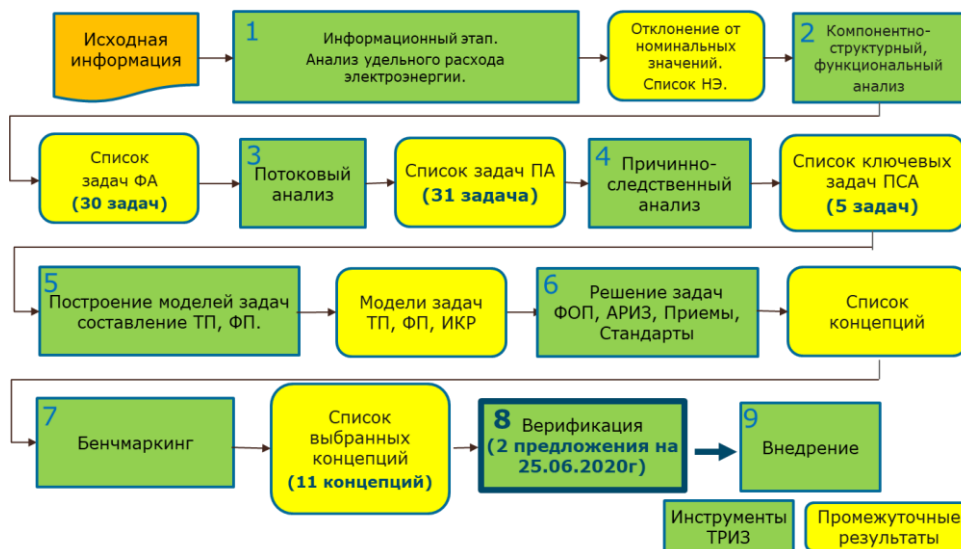


Рисунок 1 – дорожная карта проекта.

1. Восстановление показаний приборов учета электрической энергии.

Анализ выгрузки удельного расхода за 7 месяцев 2019 г. определил, что средний минимальный удельный расход одной из печей составил 123 кВт*ч/т, максимальный расход 364 кВт*ч/т при нормативе 450 кВт*ч/т.

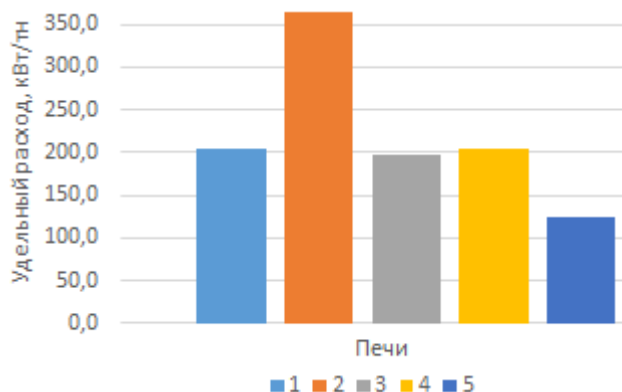


Рисунок 2 – средний удельный расход печей гомогенизации за 7 месяцев 2019 г.

Взяв среднюю массу садки, проведен расчет необходимого количества теплоты для ее нагрева без учета тепловых потерь печи.

$$Q = c \cdot m (\Delta T) \quad (1)$$

где: Q – количество теплоты, полученное веществом при нагреве, Дж;
 c – удельная теплоемкость, Дж/кг·К;
 m – масса нагреваемого вещества, кг;
 ΔT – разность конечной и начальной температуры вещества, °С.

Расчетное количество теплоты для нагрева средней массы садки составило 137 кВт*ч/т, что поставило под сомнение правильность показания приборов учета.

После корректировки приборов учета ремонтной службой средний удельный расход печей составил 510 кВт*ч/т.

2. Функциональная модель печи.

Сформулирована главная полезная функция печи, определены компоненты, построена структурная и функциональная модели.

Таблица 1 – ГПФ печи и её компоненты.

Техническая система	Главная функция технической системы	Компоненты технической системы	Компоненты надсистемы
Печь гомогенизации	Нагревать алюминиевые заготовки и слитки путем преобразования электрической энергии в тепловую.	1. Корпус печи; 2. Дверь печи с выкатными подом; 3. Вентиляторы; 4. Нагревательные элементы; 5. Свод; 6. Воздух в печи;	1. Воздух в цехе; 2. Заготовки, столбы; 3. Стелаж.

В результате построения функциональной модели определено количество полезных, вспомогательных и вредных функций (Таблица 2), а также, количество функций с недостаточным, адекватным уровнем выполнения (Таблица 3).

Таблица 2 – статистика функций.

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

Таблица 3 – количество функций по уровням выполнения.

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

Всего сформулировано 30 задач по устранению вредных функций и 2 задачи по устранению полезных-недостаточных функций.

Фрагмент сформулированных задач:

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?
3. Как сделать так чтобы вентиляторы не перемещали (всасывали) воздух из цеха в печь?
4. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал корпус печи?
5. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал дверь печи с выкатным подом?
6. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал свод?

7. Как сделать так чтобы воздух в печи не нагревал стеллаж?

3. Потокосая модель печи.

Для выявления тепловых потерь печи проведена тепловизионная съемка печи в режимах нагрева, выдержки и выгрузки. По результатам снимков определена температура элементов печи. В режиме выгрузки печи определена температура пода, стеллажей, внутренних элементов. Проведен расчет конвективных и инфракрасных потерь. На основе расчетов построены потоковые модели (рисунок 3,4,5).

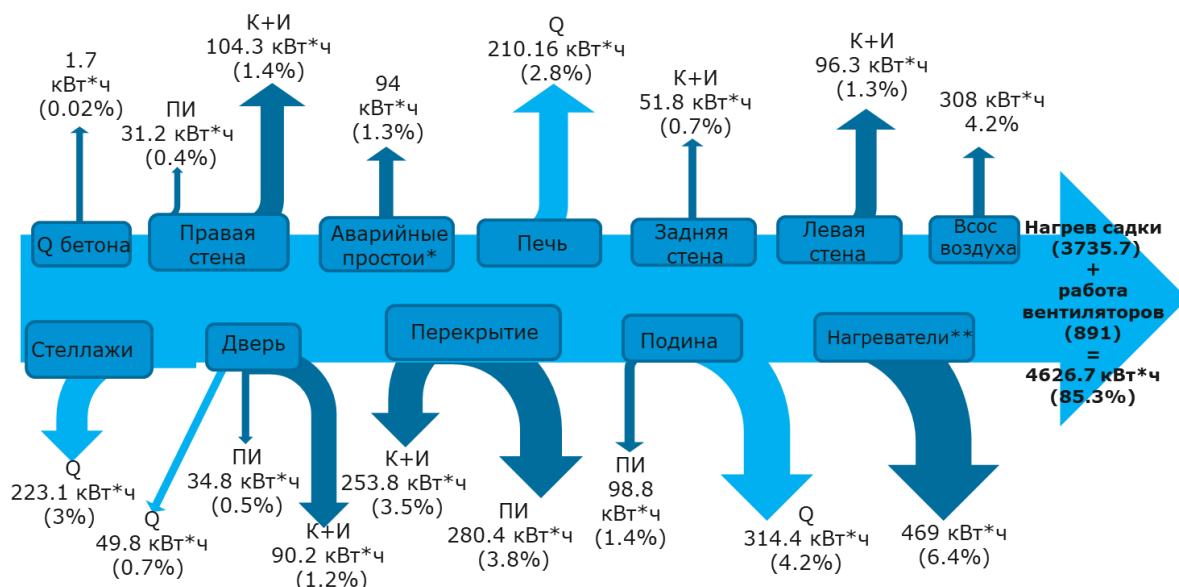


Рисунок 3 - тепловые потери печи за время режима нагрева (12 часов).

* - экспертная оценка; ** - расчетная величина.

Обозначения: К+И – потери конвективные и излучением.

ПИ – зоны повышенного излучения тепловой энергии.

Итого: 2711 кВт*ч - сумма энергии тепловых потерь;

7338 кВт*ч - сумма энергии для нагрева садки.

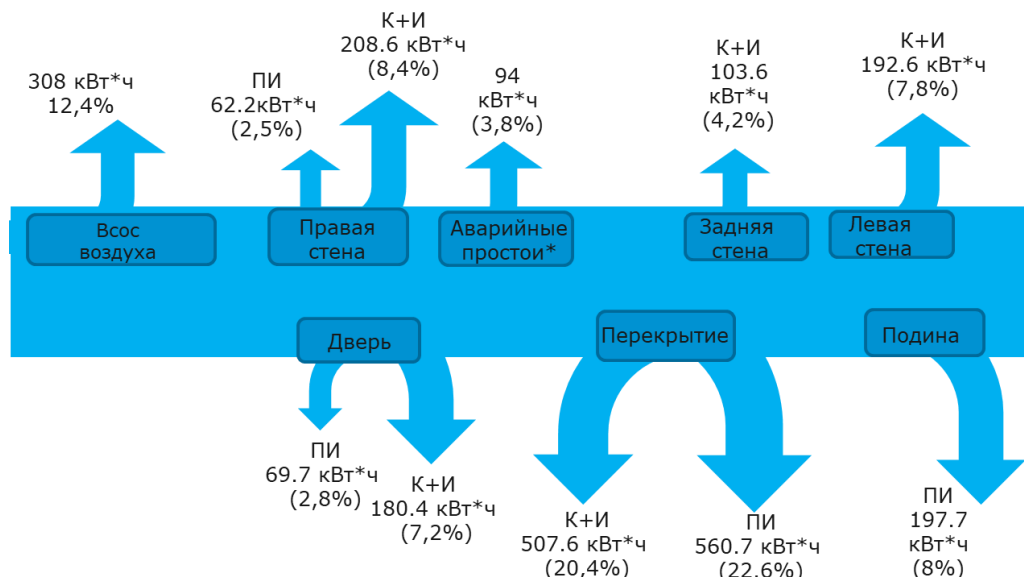


Рисунок 4 - Тепловые потери печи за время режима гомогенизации (12 часов)

* - экспертная оценка;

Итого: 2177 $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ - сумма энергии тепловых потерь;

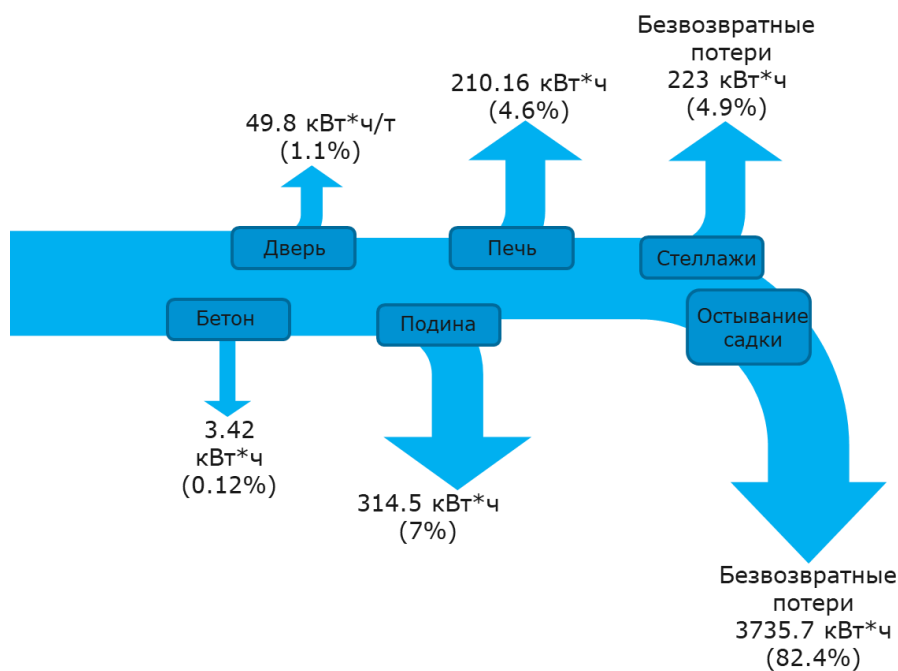


Рисунок 5 - Тепловые потери печи во время режима выгрузки

Итого: 4533 $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ - сумма энергии тепловых потерь;

Выводы из анализа потоковой модели:

1. В режиме нагрева садки имеются минимально необходимые тепловые потери, связанные с теплоемкостью печи, двери, пода 797,6 $\text{кВт}\cdot\text{ч}$, нагрев металла средней массы садки требует 4626,7 $\text{кВт}\cdot\text{ч}$;
2. Режим нагрева печи является самым энергозатратным. На него приходится основные тепловые потери 2711,8 $\text{кВт}\cdot\text{ч}$. Суммарные затраты в режиме нагрева

составляют
7338,5 кВт*ч.

3. Тепловые потери в режиме гомогенизации составляют 2177,1 кВт*ч;
4. В режиме выгрузки печи безвозвратные тепловые потери, связанные с остыванием садки, стеллажей, пода, внутренних элементов печи составляют 3958 кВт*ч.

Одна из концепций, найденных с помощью потоковой модели – «Рекуперация тепла от горячей садки к холодной».

Краткое описание концепции: металл текущей садки размещается на поде печи так, чтобы он занимал 40-45% площади. Для этого необходимо установить корзины в соответствии с утвержденной схемой их размещения, но устанавливать только половину, оставив свободное место. Провести процесс гомогенизации согласно ТИ. По окончании отчета времени выдержки первой садки нагрев и вентиляторы печи отключаются, под выкатывается из печи. Металл следующей партии загружается на свободное место пода печи. Горячий металл остается на месте. Под с холодным и горячим металлом двух садок закатывается в печь, включаются вентиляторы, нагреватели отключены. По показаниям закладных термопар отслеживается процесс охлаждения горячего металла и нагрев металла новой садки. Когда разность температур достигает заданного минимума (например, 50 °С) процесс рекуперации прекращается, под выкатывается для выгрузки первой садки. Остывший в ходе рекуперации металл первой садки снимается с пода печи. Под закатывается, включаются вентиляторы и нагреватели печи – продолжается обычный выход на режим следующей садки.

4. Причинно-следственный, параметрический анализ.

Для определения причины возникновения НЭ «низкий показатель надежности нагревательных элементов» проведен причинно-следственный анализ (рисунок 7)



Рисунок 7 – причинно-следственный анализ низкого показателя надежности нагревательных элементов.

Измерения электрического сопротивления нагревательных элементов калориферов печи СДО-35 №1 проводились после их ремонта непосредственно перед монтажом.

Измерения выполнены с использованием прибора MASTECH MS5308 по схеме двойного моста на постоянном и переменном токе. Предел допускаемой относительной погрешности измерений $\pm 1\%$. Данные измерения электрического сопротивления рисунок 6.

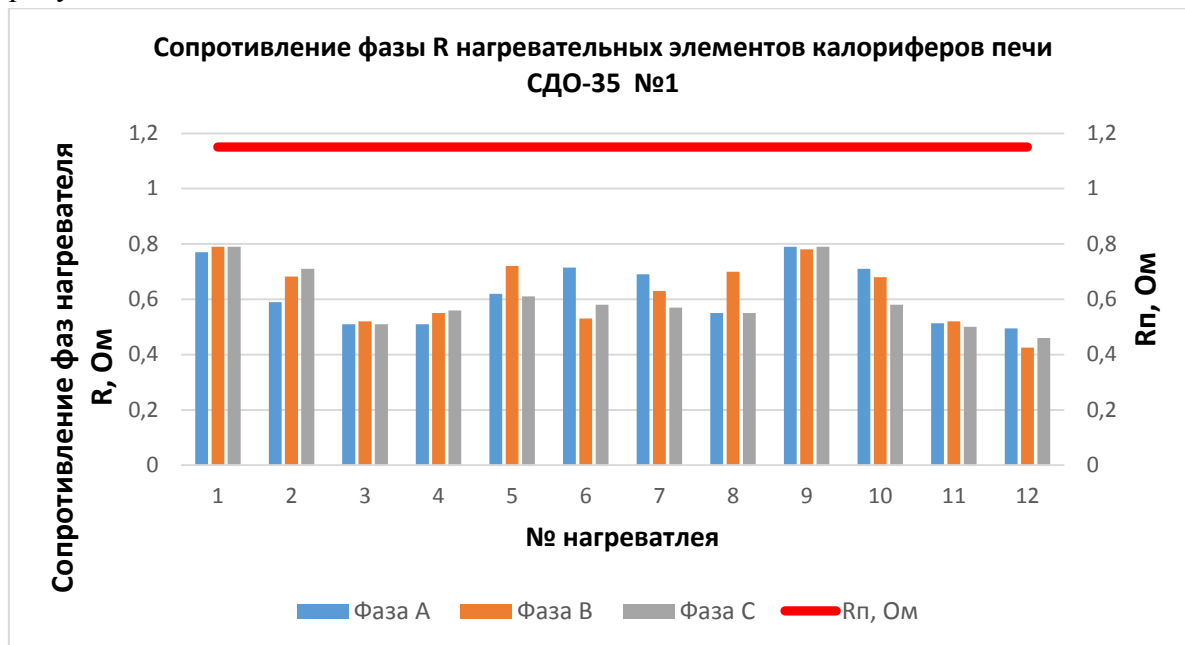


Рисунок 8 - Измеренные значения электрического сопротивления нагревателей печи СДО-35 №1.

R_n – сопротивление нагревателя согласно проекта

Замеренные значения электрического сопротивления всех 36 нагревательных элементов печи оказались значительно ниже установленной проектом величины 1.15 Ом и распределены в интервале от 0.43 до 0.79 Ом.

Ток и мощность нагревательных элементов печи вычислены при условии приложения к ним фазного напряжения 220 В. Хотя сопротивления элементов варьируют в широком интервале значений, в каждой нагрузке (звезде) они оказались достаточно хорошо согласованы, поэтому, расчет производился по упрощенной формуле без учета перекаса фаз. Результаты представлены на рисунке 8.

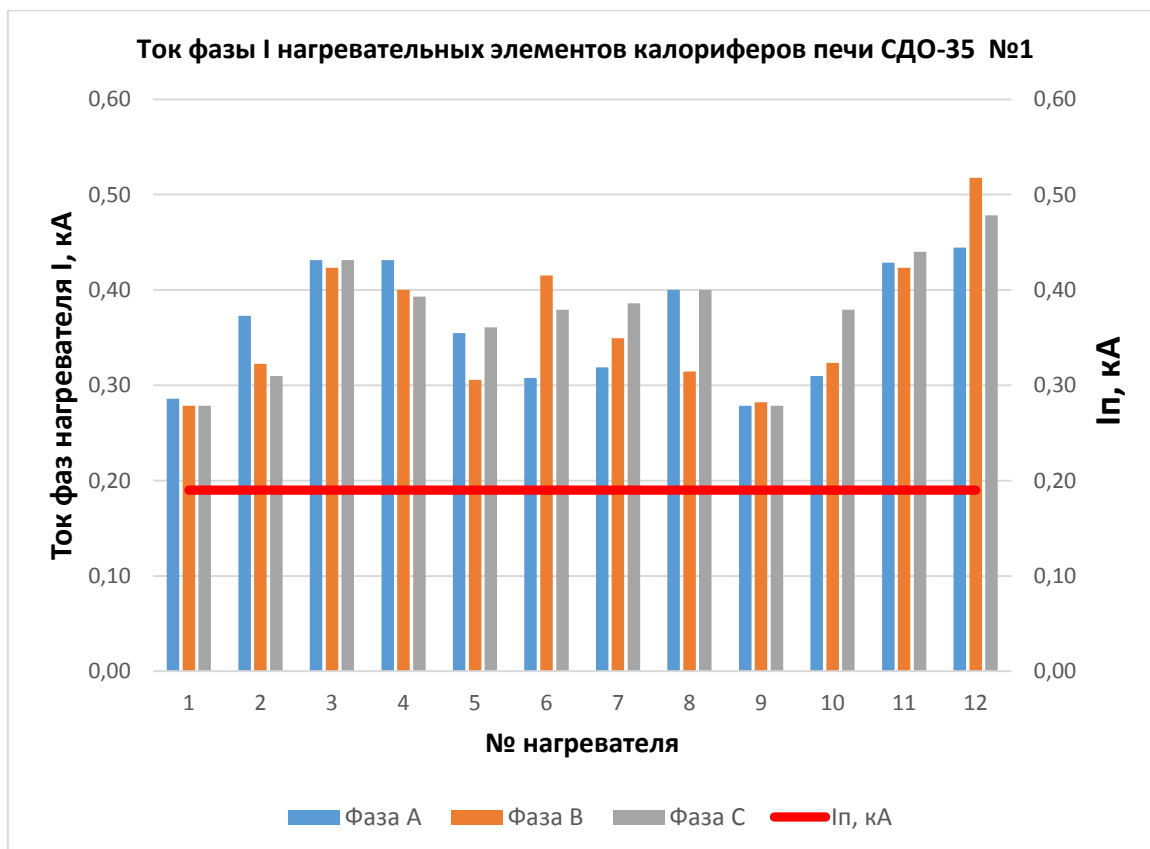


Рисунок 9 - Расчетные значения тока нагревателей.

I_n – ток нагревательного элемента согласно проекта.

Выводы из причинно-следственного и параметрического анализа:

1. Выявлена причина частых отказов нагревателей – уменьшенная длина нихромовой спирали. На всех нагревательных элементах ток значительно превышает проектное значение 191 А. Максимальное превышение составило 2.7 раз.
2. Требуется приведение параметров нагревателей в соответствие с проектными значениями.

Основные результаты проекта:

- Выполнены основные аналитические процедуры, разработано 11 предложений для верификации.
- Проведена защита проекта, начата верификация предложений.
- Приведены в соответствие показания приборов учета электроэнергии, определен средний удельный расход.
- Выполнен анализ параметров нагревателей печи на соответствие с проектными значениями. Подготовлен технический отчет по результатам измерения электрического сопротивления. Выработаны рекомендации по восстановлению технических характеристик нагревательных элементов согласно проектным значениям.
- Разработана схема перекоммутации нагревательных элементов в случае перегорания одного элемента.