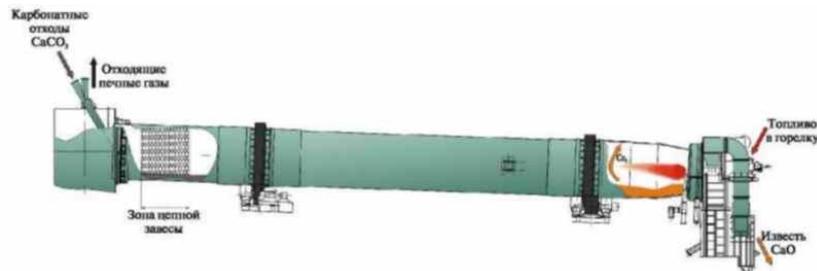


Оптимизация футеровки печи обжига извести



Постановка задачи

Вращающаяся наклонная печь обжига извести по первоначальному проекту имела футеровку из кирпича ПХЦ, толщиной 300 мм (исходный вариант - Вариант 1). Стойкость футеровки составляла ~12 месяцев.

Впоследствии, с целью уменьшения теплотерь, футеровку сделали двухслойной: 200 мм ПХЦ и 120 мм шамота (используемый вариант - Вариант 2). Теплотери значительно снизились, но стойкость футеровки уменьшилась до ~8 месяцев.

Цель работы: предложить вариант футеровки печи обжига извести, который при сохранении низких теплотерь, сохранял бы высокую стойкость.

Предварительный анализ вопроса

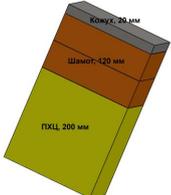
1. Слой футеровки, контактирующий в циклическом режиме с обжигаемой известью должен иметь высокие химико-механические свойства в данной среде при температурах 1400-1500 °С. Поэтому в исходном проекте для футеровки (см. Вариант 1) был использован материал ПХЦ – 300 мм. Но, ПХЦ имеет относительно высокий коэффициент теплопроводности ~2,9 Вт/(м*К) и теплоизолирующие свойства такой футеровки оказались достаточно низкими (расчетная температура кожуха ~356 °С, плотность теплового потока от печи: ~ 9930 Вт / м²).
2. Поэтому возник альтернативный вариант футеровки: 200 мм ПХЦ + 120 мм шамота (см. Вариант 2), который сегодня и используется. Тепловые характеристики значительно улучшились: температура кожуха снизилась до ~266 °С, плотность теплового потока до ~7230 Вт / м² (тепловые потери – расход газа - уменьшились на ~27%).
3. Но возникла проблема со стойкостью: раньше футеровка стояла ~12 месяцев, с шамотным слоем ~8 месяцев!
4. Теоретический (не численный – он не проводился) анализ указывает, что снижение стойкости футеровки происходит, в первую очередь, из-за термо-механического взаимодействия слоев футеровки в условиях циклического нагружения. В результате вращения печи нагрузка на слой шамота имеет циклический характер. Шамот имеет

значительно меньшие прочностные свойства по сравнению с ПХЦ. Под циклическими нагрузками слой шамота начинает разрушаться и слой ПХЦ теряет «внешнюю опору». Далее: деформации в слое ПХЦ, возможные выпадения отдельных кирпичей и пр.

Выводы из предварительного анализа

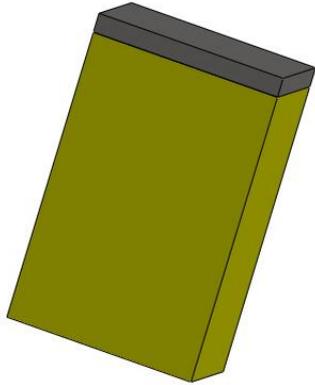
- ✓ В условиях циклических механо-химических воздействий и высоких температур лучше не использовать многослойную изоляцию (либо это потребует довольно точных расчетов и тонкого проведения работ по монтажу).
- ✓ Лучше применять однослойную изоляцию, а тепловое сопротивление повышать путем устройства пазов на стороне кирпича, контактирующей с кожухом.
- ✓ Эффективность различных вариантов футеровки печи можно оценить путем проведения численных экспериментов.

Программа численных экспериментов

№	Варианты футеровок	Число слоев футеровки	Суммарная толщина футеровки, мм	Эскиз
1	Исходный вариант, ПХЦ-300мм	1	300	
2	Используемый вариант, ПХЦ-200+шамот 120мм	2	320	
3	Предлагаемый вариант, ПХЦ-300мм с пазом 20 мм	1 с пазом	300	
4	Предлагаемый вариант, ПХЦ-250мм с пазом 20 мм	1 с пазом	250	

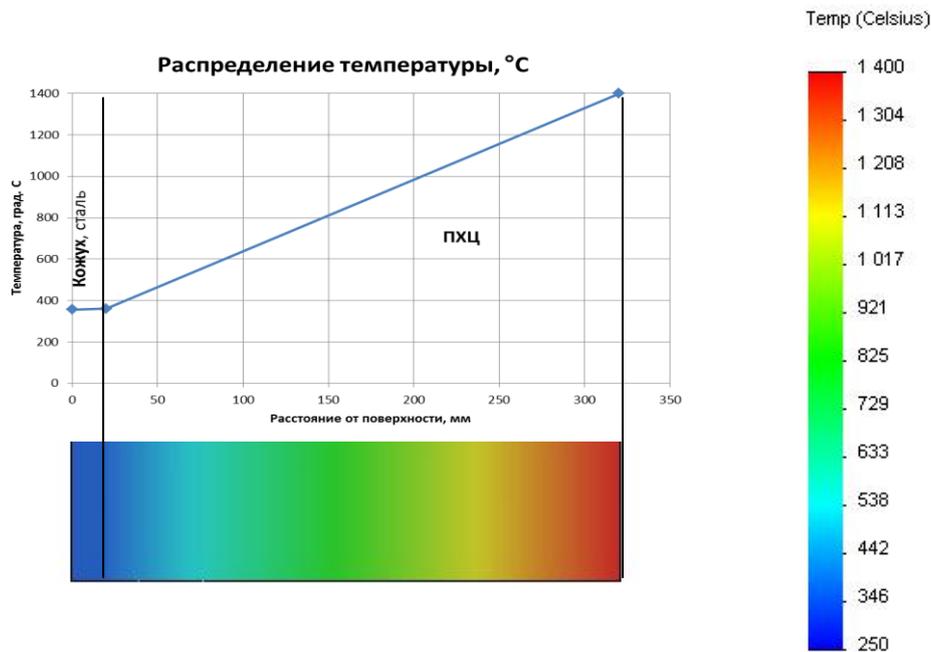
Вариант 1, исходный (ПХЦ-300)

Футеровка



Исходные данные

Слой	Толщина, мм	Коэф. тепло-ти, Вт/(м*°К)
ПХЦ	300	2.9
Кожух, сталь	20	50

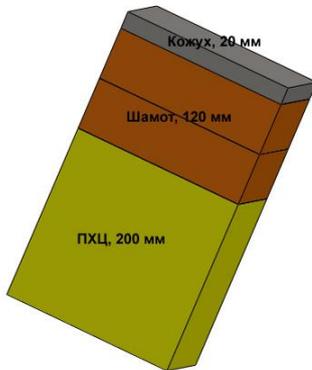


Основные результаты

Температура внешней поверхности кожуха, °С	356
Плотность теплового потока, Вт/м ²	9930

Вариант 2, используемый (ПХЦ-200+шамот 120мм)

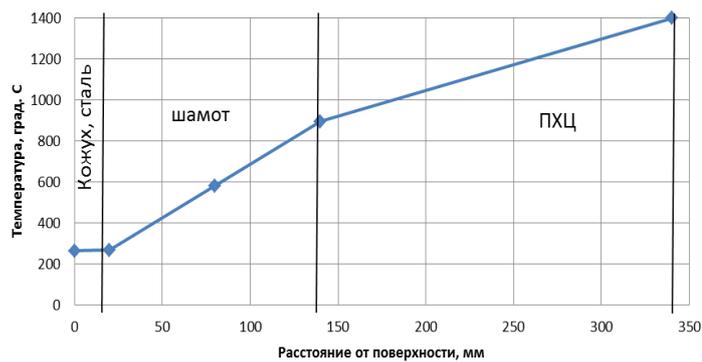
Футовка



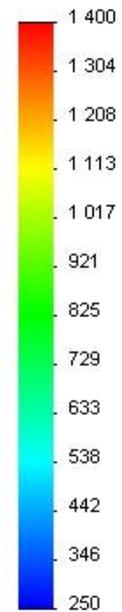
Исходные данные

Слой	Толщина, мм	Коэф. тепло-ти, Вт/(м*°К)
ПХЦ	200	2.9
Шамот	120	1.4
Кожух, сталь	20	50

Распределение температуры, град. С



Temp (Celsius)

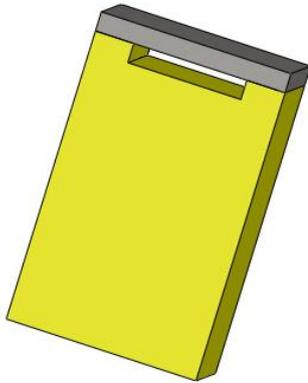


Основные результаты

Температура внешней поверхности кожуха, °С	266
Плотность теплового потока, Вт/м ²	7230

Вариант 3, предлагаемый - 1 (ПХЦ-300 с пазом - 20мм)

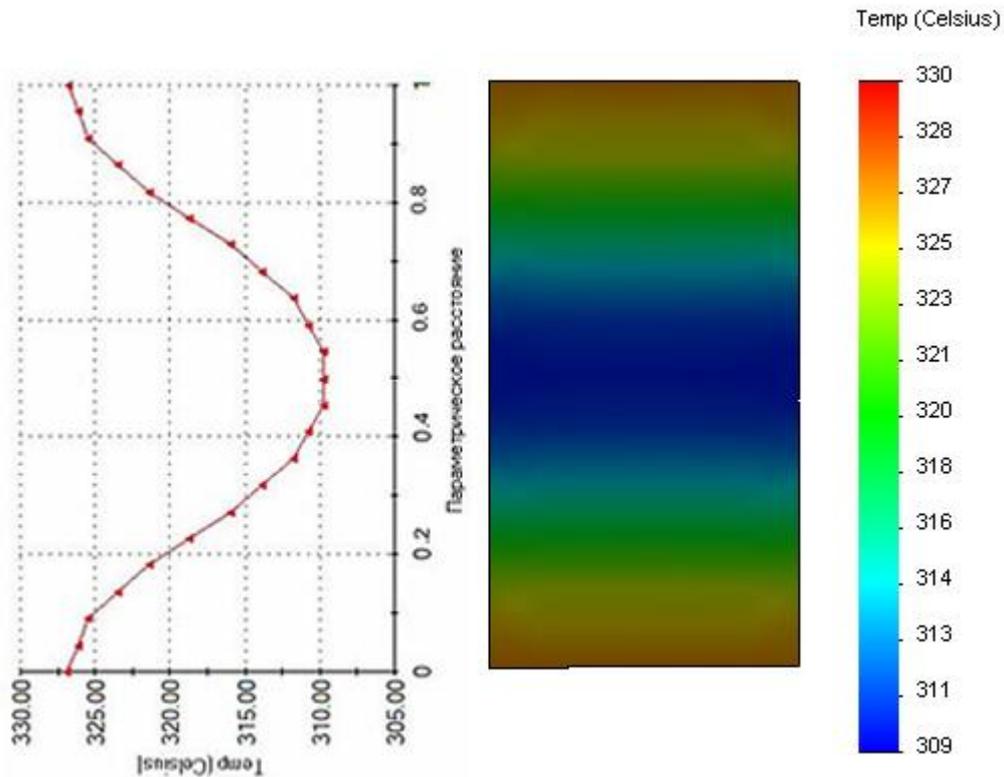
Футеровка



Исходные данные

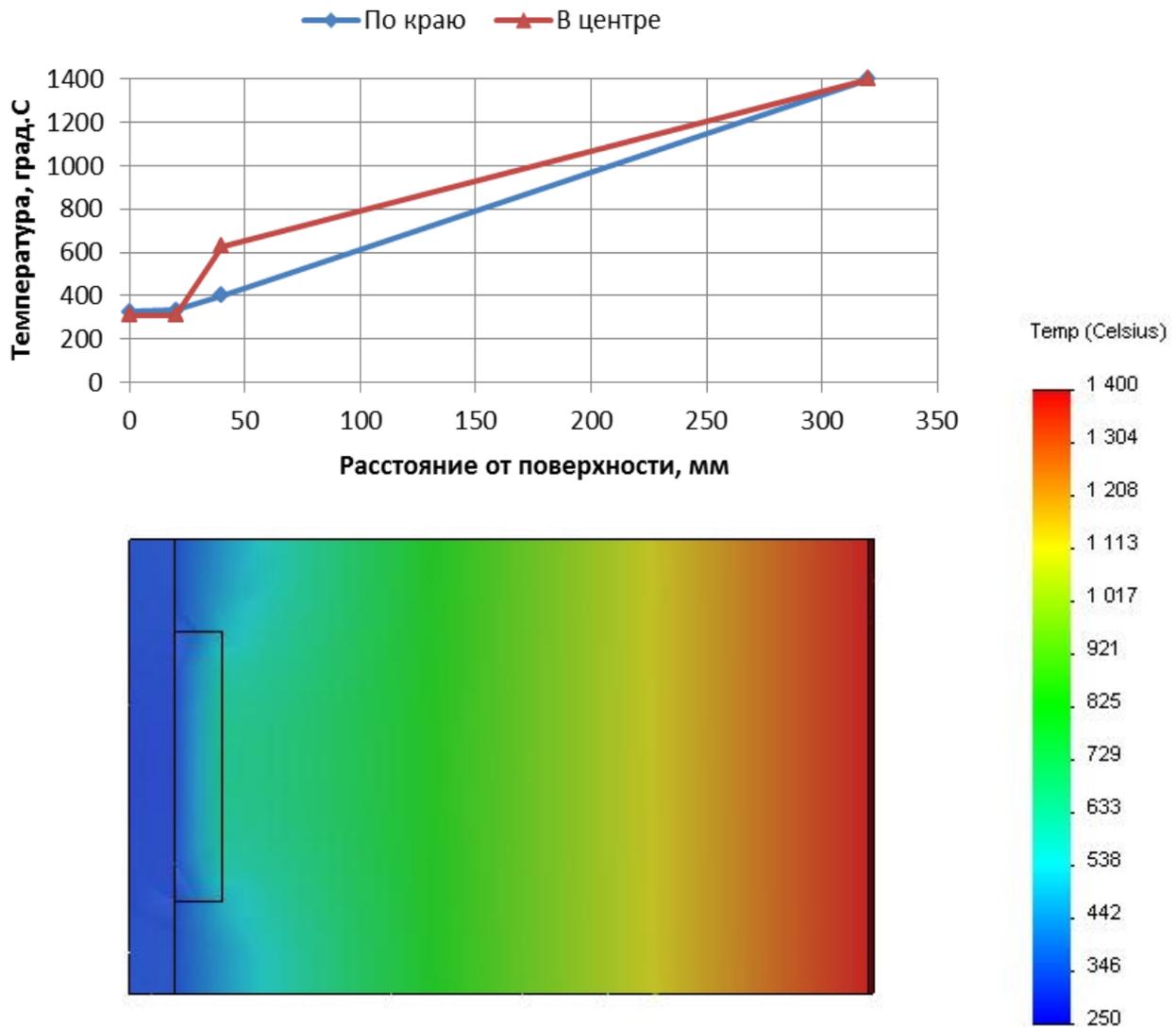
Слой	Толщина, мм	Коэф. тепло-ти, Вт/(м*°К)
ПХЦ	280+20	2.9
Воздушный паз	20	
Кожух, сталь	20	50

Температура на внешней поверхности кожуха (броня) распределена неоднородно. Участки поверхности напротив паза имеют меньшую температуру (~310 °С) по сравнению с участками напротив мест контакта ПХЦ-кожух (~326 °С). Разница температуры достигает ~16 °С.



Средняя температура внешней поверхности кожуха ~318 °С.

Распределение температуры, °C

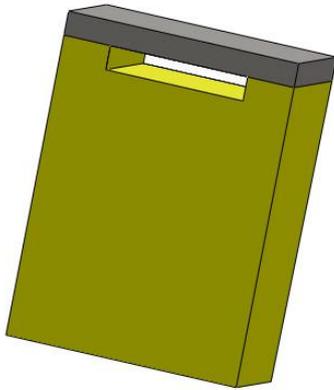


Основные результаты

Средняя температура внешней поверхности кожуха, °C	318
Плотность теплового потока, Вт/м ²	8790

Вариант 4, предлагаемый - 2 (ПХЦ-250 с пазом - 20мм)

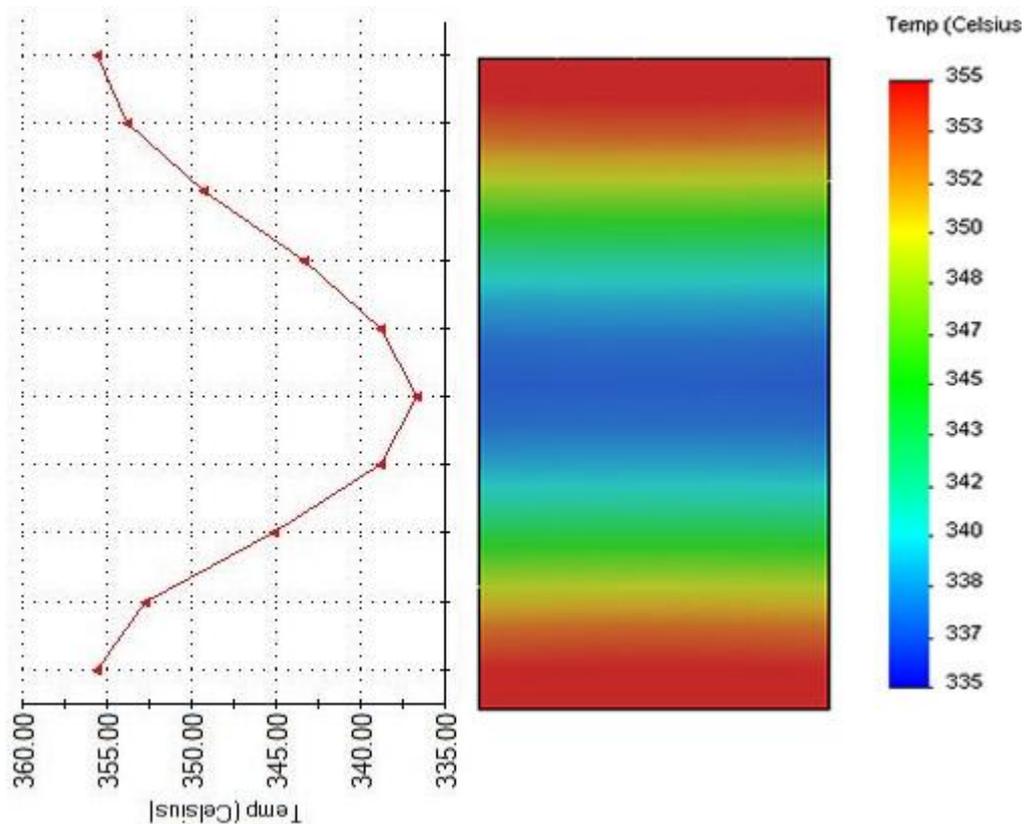
Футеровка



Исходные данные

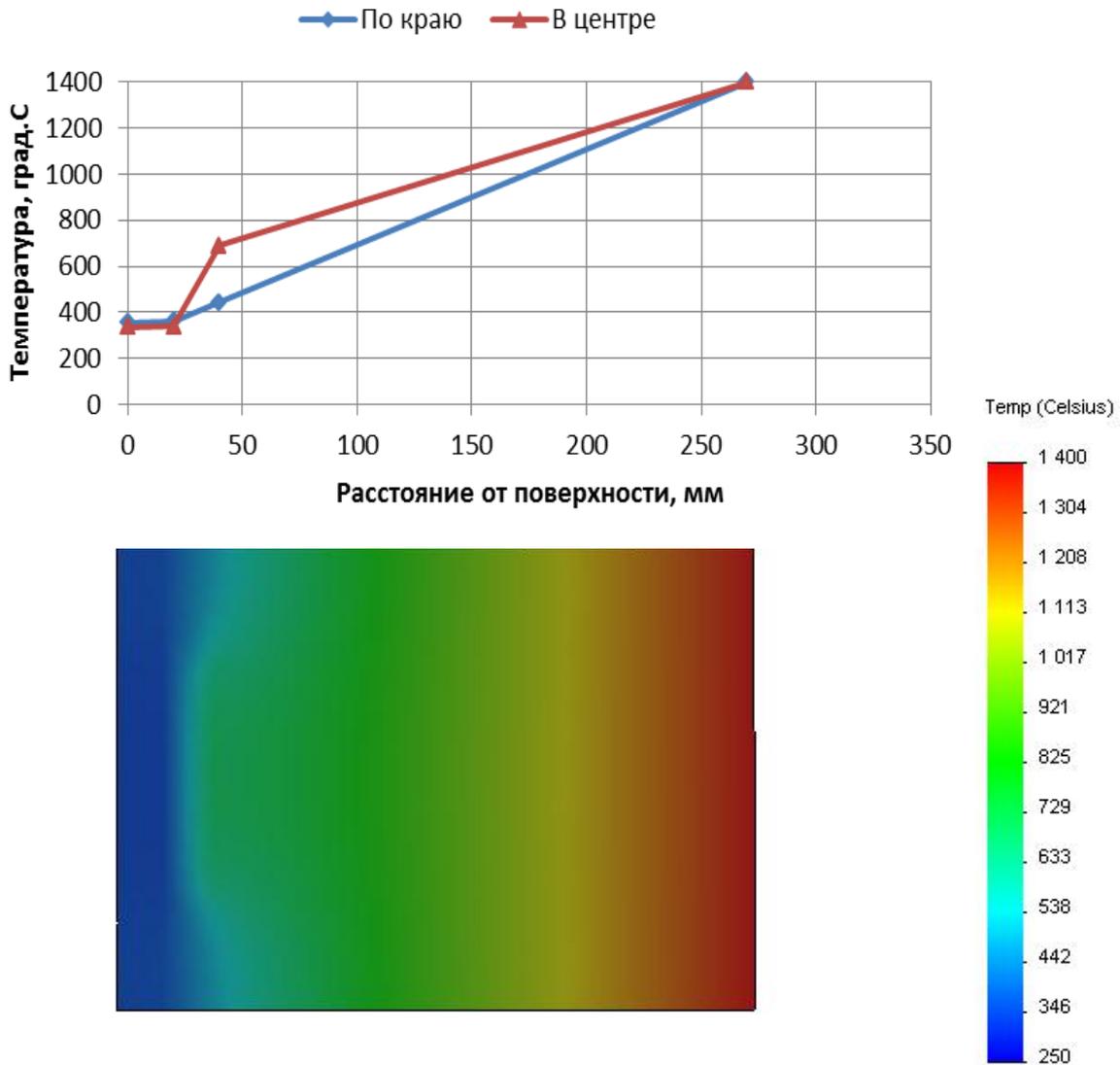
Слой	Толщина, мм	Коэф. тепло-ти, Вт/(м*°К)
ПХЦ	230+20	2.9
Воздушный паз	20	
Кожух, сталь	20	50

Температура на внешней поверхности кожуха (броня) распределена неоднородно. Участки поверхности напротив паза имеют меньшую температуру (~336 °С) по сравнению с участками напротив мест контакта ПХЦ-кожух (~356 °С). Разница температуры достигает ~20 °С.



Средняя температура внешней поверхности кожуха ~346 °С.

Распределение температуры, °C



Основные результаты

Средняя температура внешней поверхности кожуха, °C	346
Средняя плотность теплового потока, Вт/м ²	9630

Сводная таблица результатов численных экспериментов

№	Варианты футеровок	Плотность теплового потока, Вт/м ²	Температура на броне, °С	Суммарная толщина футеровки, мм
1	Исходный, ПХЦ-300мм	9930	356	300
2	Используемый, ПХЦ-200+шамот 120мм	7230	266	320
3	Предлагаемый, ПХЦ-300мм с пазом 20 мм	8790	318 (средняя)	300
4	Предлагаемый, ПХЦ-250мм с пазом 20 мм	9630	346 (средняя)	250

Выводы и рекомендации

1. Использование пазов в огнеупорном кирпиче со стороны его контакта с кожухом снижает среднюю температуру кожуха. В расчетах снижение температуры составило 30-40 °С, что эквивалентно слою шамота толщиной 60 мм. При этом тепловой поток, а соответственно и расход газа, снижается примерно на 10%.
2. Из-за устройства пазов прочность футеровки должна снижаться, что может приводить к снижению стойкости футеровки. Но ожидается, что снижение стойкости от устройства пазов должно быть меньшим по сравнению с вариантом использования двухслойной футеровки. Это подтверждается и мировой практикой.
3. Конструкция пазов (количество и размеры) могут быть оптимизированы исходя из теплового и механического аспектов.
4. Альтернативный вариант снижения теплопотерь без снижения стойкости футеровки – это использование дополнительной теплоизоляции на внешней стороне кожуха печи. Это можно выполнить в различных конструктивных исполнениях, например <http://www.evolit.ru/18/141> или просто наварить «фальш-кожух» (к настоящему кожуху приварить «ребра», а к ним «фальш-кожух»).