УТВЕРЖДАЮ:
Директор ООО «КАМИ»
_____ С.И.Серегин
“ 08 ” июня 2011г.

ПЕЧЬ ОТОПИТЕЛЬНАЯ
ОИК ХК

Отчет по совместным испытаниям

СОГЛАСОВАНО:
члены рабочей группы

_____ Е. В. Колчин

письмом от 07.06.2011 С.И. Несов

письмом от 06.06.2011 А.Ф. Бацулин

05.06.2011 С.В. Кириллов

Петрозаводск
2011

1. Введение

В период с 01 по 10 марта 2011 года в п. Полушкино (Московская обл.) проводились испытания отопительной печи с хлебной камерой ОИК ХК.

Внешний вид печи показан на рис.1, схема печи - на рис.2.

Рис.1. Внешний вид печи ОИК ХК, построенной в п.Полушкино

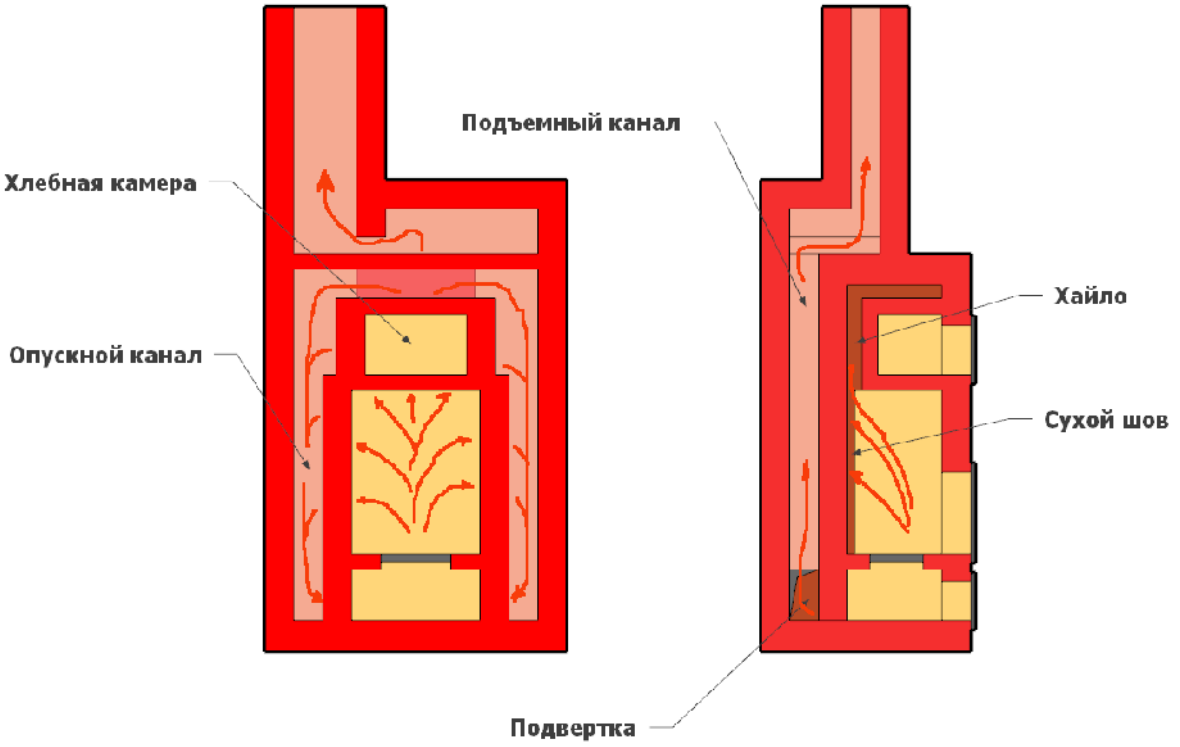

Рис.2. Схема печи ОИК ХК в Полушкино

Конструктивно печь состоит из двух ярусов. Нижний ярус представляет собой колпак с размещенной в ней топкой. Топка снабженна сухими швами, катализатором и системой подвода вторичного воздуха (на схеме катализатор и система ВВ не показаны). Дымовые

газы имеют возможность выходить из топочного пространства как через сухие швы, так и через хайло. При этом они попадают в левый и правый опускные каналы, перемещаются вниз до подверток и уходят в центральный подъемный канал, расположенный непосредственно за топкой. Верхний ярус представляет собой дополнительный колпак в виде борова, который предназначен для дополнительной утилизации избытков тепла из дымовых газов и соединения печи с насадной дымовой трубой, установленной на правой стороне печи.

Сухих швов два. Ширина - 2…3см. Расположены сухие швы с левой и с правой стороны топки в ее дальних углах. Начинаются сухие швы непосредственно от пода топки. В верхней части топки (в районе выхода вторичного воздуха) сухие швы расширяются до 4…5см, а в районе хлебной камеры переходят в хайло – зазор между хлебной камерой и задней стенкой нижнего колпака - стенкой подъемного дымового канала (см. рис. 3)

Рис.3. Вид на сухие швы и хайло. Сухие швы закрыты пароком.

Цель испытаний: Экспериментальное определение влияния сухого шва на эксплуатационные параметры печи системы Кузнецова.

В ходе испытаний производились:

- оценка влияния сухого шва на объемный расход воздуха, проходящего через печь;
- оценка влияния сухого шва на потери тепла с отходящими газами;
- оценка выраженности эффекта "газовой вьюшки", обусловленного наличием сухого шва.

Влияние сухого шва на эффективность тепловых процессов в первом (нижнем) колпаке не определялось в связи с отсутствием для данной печи методики проведения подобных исследований (влияние сухого шва на эффективность тепловых процессов в первом колпаке исследовалось в рамках испытаний отопительного котла КИК-18. Отчет см. здесь: http://kamicenter.ru/news/index.php?news=1050 .

Всего было задействовано две основных схемы организации топочного процесса:

- печь ОИК ХК "как есть", т.е. в авторском исполнении;
- печь ОИК ХК с закрытыми сухими швами.

Дополнительно был выполнен один опыт с закрытыми каналами вторичного воздуха.

Результаты испытаний приведены на соответствующих графиках и в таблицах.

2. Подготовка к испытаниям

Для контроля состава отходящих газов и их температуры был использован газоанализатор Delta 65 фирмы MRU (Германия). Расположение зонда газоанализатора на печи показано на рис.4.

Рис.4. Расположение зонда газоанализатора на печи ОИК ХК

Для контроля входящего воздуха на патрубке поддувала был установлен термоанемометр импеллерный типа Skywatch Xplorer 2 швейцарской фирмы JDC Electronic SA (см. рис.5).

Рис.5. Расположение анемометра на входном патрубке

Во всех опытах сжигалось по 13кг дров за одну закладку (исключение 04.03 – сожгли 14,5кг). Средняя влажность дров W = 17,9%. Состав дров – береза. Дверца топки была полностью закрыты на протяжении всего времени топки. Вместо поддувальной дверцы был установлен патрубок, который обеспечивал постоянное проходное сечение 92 х 115мм и фиксировал корпус анемометра в одинаковом положении независимо от схемы проведения опыта. Допускалось 1-2 шевеления дров на закладку.

3. Проведение испытаний

3.1. Сравнение результатов анализа отходящих газов

Параметры отходящих газов фиксировались газоанализатором, установленным перед заслонкой дымовой трубы (см. рис.4). Запись осуществлялась в режиме реального времени. Результаты испытаний представлены в виде графиков (типичный график показан на рис.6) и таблиц средних значений (см. пример на рис. 7).

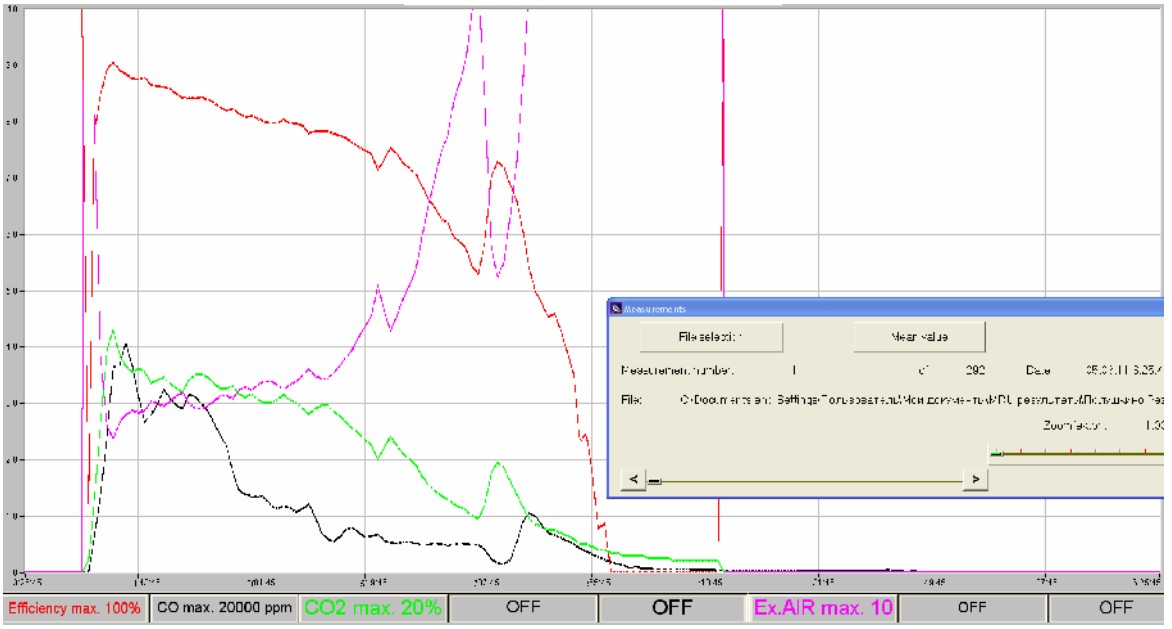

Рис.6. Графики изменения параметров отходящего газа в процессе топки по схеме печь ОИК ХК «как есть». 04 марта 2011г.

- красным цветом показана эффективность процесса (максимальное значение поля графика по координате У = 100%),
- сиреневым – температура отходящих газов (Умакс = 400 °С),
- зеленым – концентрация CO2 (Умакс = 20%) ,
- черным – концентрация CO (Умакс = 20 000ppm).

Kunde :					
Measur. :	12	date:	05.03.11 3:36:45		
to	81	date:	05.03.11 4:45:44		

Model	:	Delta 65
Fuel type	:	WOOD DRY
CO2max	:	20.3 %
O2-Ref	:	13 %

T-Gas	:	173.2 °					
T-Amb.	:	9.4 °					
Dewpoint	:	36.7 °					
T-Boiler	:	--- °					
O2	:	15.6 %					
CO2	:	5.1 %					
Losses	:	24.5 %					
Efficiency	:	75.5 %					
Ex.AIR	:	8.71					
Draft	:	--- hPa					
Oil derivat	: negativ						
Soot no.	: -----						

CO	:	2785 ppm	24257 ppm/0%				
		3478 mg/m3	5180 mg/	13 %			
NO	:	0 ppm	0 ppm/0%				
		0 mg/m3	0 mg/	13 %			
NOx	:	0 ppm	0 ppm/0%		0 ppm/	13 %	
		0 mg/m3	0 mg/	13 %			
NO2	:	0 ppm					
SO2	:	0 ppm	0 ppm/0%				
		0 mg/m3	0 mg/	13 %			
HC	:	0 ppm	0 mg/m3				
H2S	:	0 ppm	0 mg/m3				

Рис.7. Средние показатели процесса от 04 марта 2011г.

Средние значения результатов газового анализа сведены в таблицу 1.

Табл.1

Дата опыта	Схема организации топочного пространства	КПД, %	Концентр. CO2, %	Темпе-ратура газа на выходе, °C	Расход газа через печь, нм^3
04.03.2011 07.03.2011 09.03.2011	ОИК ХК "как есть" (в авторском исполнении)	75,5 75,6 76.2	5,1 5,8 6.2	173,2 194,8 210.2	239,8 (14,5кг) 197,2 191,0
05.03.2011 06.03.2011	ОИК ХК с закрытым сухим швом	78.7 80.5	6.0 7.5	169.3 192.4	215,4 195,5
08.03.2011	ОИК с закрытыми каналами подачи вторичного воздуха	75.2	8.0	252.4	139,4

За момент начала топки взято первое значение КПД отличное от нуля. Учитывая, что скорость входа процесса горения в режим достаточно высока (график КПД в начале горения представляет собой почти вертикальную линию), определение момента начала топки определяется достаточно однозначно, т.к., например, увеличение КПД от 0 до 50% укладывается в промежуток времени в 1 минуту (интервал времени между двумя последовательными замерами).

За момент окончания топки принято условие снижения концентрации CO2 в дымовых газах до 25% от максимально достигнутой в опыте концентрации. Например, если при наиболее интенсивном горении концентрация CO2 достигла 12%, то за окончание топки принимается момент снижения концентрации CO2 до 3%. Данный критерий определения момента окончания топки регламентирован европейским стандартом EN 15250.

Как видно из таблицы суммарный объем газа, прошедшего через печь за время топки практически одинаков и не зависит от схемы организации топочного пространства. Незначительное повышение КПД в схемах без сухого шва можно объяснить увеличением концентрации CO2 (06.03.2011) или снижением температуры отходящих газов (05.03.2011). Однако, учитывая возможное влияние случайных (неучтенных) переменных и то, что статистика минимальна, целесообразно сделать вывод о том, что на печи ОИК ХК, построенной в п.Полушкино статистически значимого влияния сухого шва на общий КПД печи не обнаружено.

3.2. Определение CO и потерь с отходящими газами с учетом общего потока воздуха через печь

Потери с отходящими и средняя концентрация CO в неразбавленных ДГ считались с учетом потока воздуха (см. методику А.Бацулина: http://kirpichiki.pro/read/articles/averaging-of-ga-data.html).
Интервал усреднения CO – с начала опыта до окончания горения, определяемого условием CO2 = 0,25CO2max (в соответствии с европейскими нормами, регламентирующими момент окончания топки).

Результаты измерений сведены в табл.2.

Табл.2

	Схема	Прим.	Время гор., мин	Альфа средн.	Потери,%		CO неразб., ppm
					Учет потока	Обычн. усредн. ГА	
4.03	Как есть	14,5кг дров	80	4,45	21,2	23,5	11014
5.03	СШ закр.	Ветер	80	3,58	17,3	21,0	6410
6.03	СШ закр.		70	3,33	16,4	19,2	6804
7.03	Как есть		64	3,63	21,2	23,8	11419
8.03	Вт. закр.	Утром топили	46	2,73	20,8	22,9	11396
9.03	Как есть		62	3,48	21,4	23,9	11036

08.03 печь, по независящим от рабочей группы причинам, дополнительно топилась утром. Было принято решение провести в этот день опыт с закрытой подачей вторичного воздуха. Для этого были перекрыты все каналы ВВ в зольнике. Щель в топке перед ее дверкой шириной 2,5…3см, соединяющая топку с зольником, была оставлена открытой.

Дрова в опыте от 08.03 сгорели быстрее, коэффициент избытка воздуха снизился. Концентрация CO2 в отходящих газах и температура в дымовой трубе возросли. Достаточно весомое увеличение температуры отходящих газов можно объяснить как и тем, что при закрытии вторичного воздуха уменьшилось разбавление дымовых газов, так и тем, что печь до начала опыта была теплее, чем в других опытах. Значение потерь в опыте от 08.03 практически не отличается от показателей полученных в другие дни, т.к. увеличение концентрации CO2, которое должно было привести к увеличению КПД, скомпенсировалось увеличением температуры отходящих газов.

По опытам с открытым и с закрытым СШ минимальная статистика была набрана. Эта статистика хоть и недостаточна для однозначных выводов, но все-таки позволяет говорить о тенденциях. Значимой тенденцией можно считать то, что в опытах с открытым СШ концентрация CO в дымовой трубе значительно больше чем в опытах с закрытым СШ (в среднем в 1.7раза).

Происходит это скорее всего из-за сноса недогоревшего газифицированного топлива в сухие швы, где условия для дожига значительно хуже, чем в верхней зоне топочного пространства. Учитывая тот факт, что при испытаниях котла КИК-18 указанного эффекта замечено не было (концентрация CO во всех опытах была практически одинакова), можно предположить, что на степень влияния сухих швов на отвод печных газов влияет геометрия как самих сухих швов, так и топочного пространства в целом.

Для сравнения на рис.8 приведены графики CO за 4 и 5 марта.

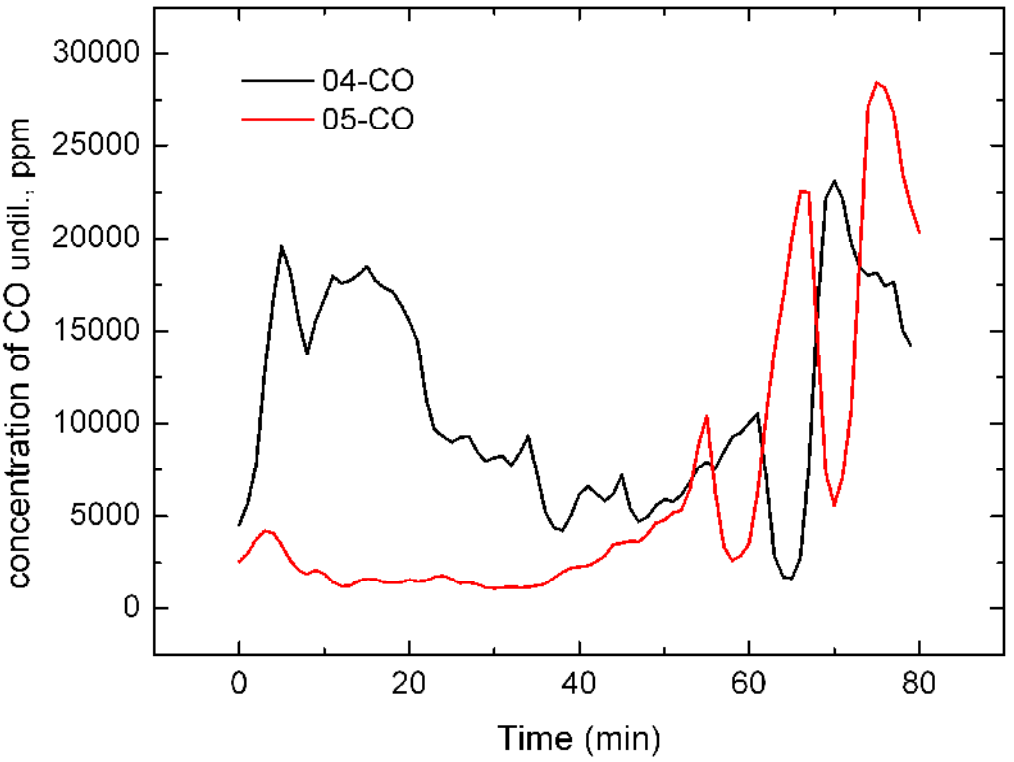

Рис.8. Графики концентрации CO в дымовой трубе при топке с открытым и закрытым сухим швом

Видно, что в авторском исполнении (при открытом СШ) присутствует значительный подъем концентрации CO в дымовых газах во время активного горения. Похоже, что вместо догорания в пламени в верхней зоне топки, CO уходит в СШ и гасится. При догорании графики сопоставимы, т.к. CO дожигается только непосредственно в зоне горения (на углях) и нет разницы куда пойдет недогоревший газ далее – ни в СШ, ни в верхней части топки дожиг невозможен, т.к. нет открытого пламени.
Провалы на графиках в конце топки связаны с ворошением углей на колоснике.

Достаточно сильно выраженная тенденция к преждевременному уносу CO в СШ в печи ОИК ХК скорее всего обусловлена тем, что в данной печи хайло из-за встроенной хлебной камеры несколько заужено. Это приводит к увеличению потока газов через сухие швы и, как следствие, к повышенному уносу через них недогоревшего CO.

3.3. Оценка выраженности эффекта "газовой вьюшки"

В ходе экспериментов проверяли влияние СШ на работу т.н. газовой въюшки колпаковой печи. Эксперименты проводили след. образом. Топили печь, визуально через стекло в дверке определяли окончание топки и с этого момента еще три часа не закрывали ни поддувало ни задвижку. При этом фиксировали температуру в трубе (Tgas) и на входе в поддувало (Tair), скорость воздуха в поддувале, которую потом пересчитали на поток (F). Мощность потерь определяли по формуле W=F*(Tgas – Tair)*Cair. Типичная кривая показана на рис.9 (опыт от 4 марта).

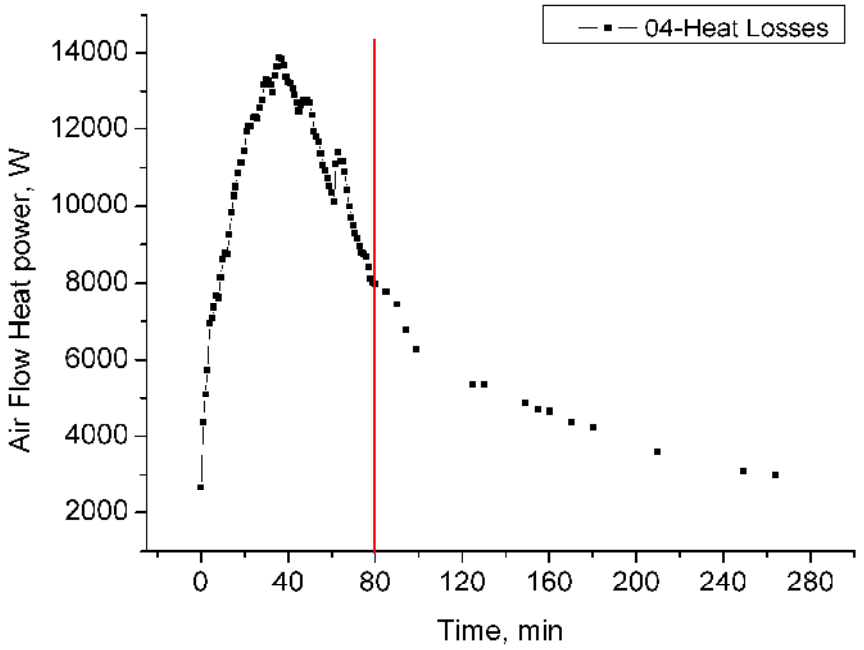

Рис.9. Типичный график зависимости мощности потерь в атмосферу при открытых заслонках (справа от красной линии)

Красная линия – 80 минут – визуальное окончание горения. "Хвосты" графиков (то что находится правее красной линии) по всем дням экспериментов показаны на сводном графике рис.10.

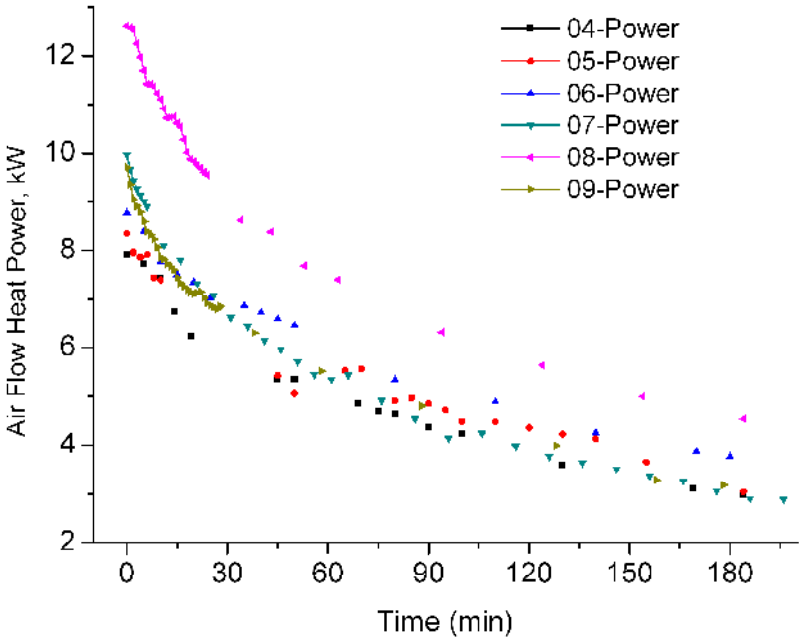

Рис.10. Сводный график зависимости остывания печи от времени.

Видно, что все графики идут более - менее кучно, кроме опыта за 8 марта. В этот день печь была дополнительно нагрета с утра, что обусловило и бОльшие потери при продувке.

Для определения потерь тепла при продувке печи означенные кривые надо проинтегировать по времени – найти зависимость площади под ними от времени

(теплопотери от продувки "с нарастающим итогом"). Внешний вид полученных кривых представлен на рис.11.

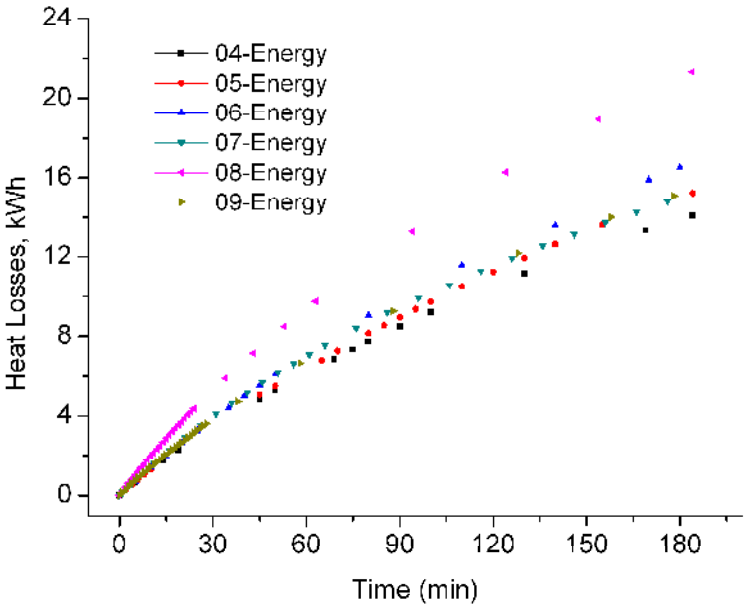

Рис.11. Графики роста потерь "с нарастающим итогом"

В графическом выражении варианты с СШ или без него практически идентичны. Чтобы сравнить в числах условно примем, что на промежутке 0 – 100 минут тепло теряется линейно. Аппроксимируем (заменим) кривые прямыми вида y = k*x (показано на рис.12). При этом коэффициент k (угол наклона прямой) будет скоростью выдувания тепла из печи (кВтч/мин).

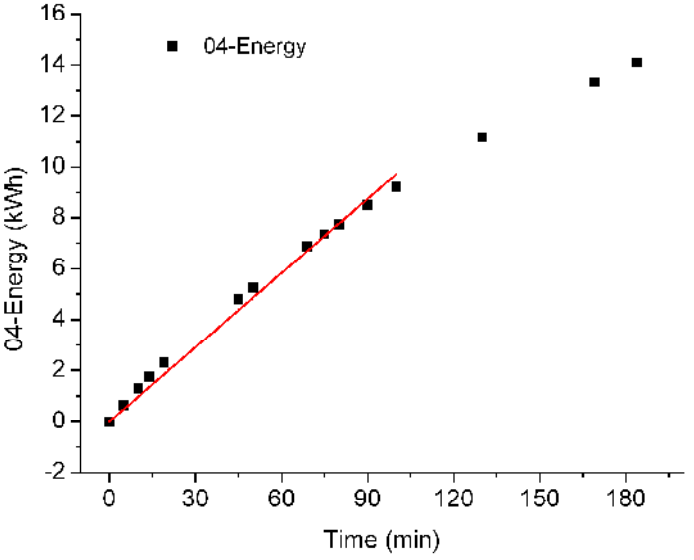

Рис.12. Замена кривой на прямую, описываемую углом наклона к оси времени.

Для того чтобы более точно сравнить коэффициенты k их надо отнести к теплу, запасенному в печи. Оно равно (масса дров)*(теплота сгорания)*КПД. После отнесения и умножения на 100% получим тот же коэффициент но в единицах %/мин. Т.е. он показывает, какую часть от запасенного тепла печь теряет за минуту. Эти коэффициенты корректно будет сравнивать. Результаты приведены в таблице 3.

Табл.3

Дата	Схема	Масса, кг	Потери, %	Запасено, кВтч	k, кВтч/мин	K, %/мин
4.03	Как есть	14,50	21,2	49,47	0,10	0,202
5.03	СШ закр.	13,13	17,3	47,02	0,10	0,213
6.03	СШ закр.	13,06	16,4	47,28	0,11	0,233
7.03	Как есть	13,03	21,2	44,46	0,11	0,247
8.03	Вт. закр.	13,04	20,8	44,72	0,16	0,358
9.03	Как есть	13,00	21,4	44,24	0,12	0,271

Т.е. например за 1,5 часа из печи выдует 0,233*90 = 21% от запасенного за топку тепла.

согласуются с полученными ранее результатами на другой печи (А. Бацулин, http://kirpichiki.pro/read/articles/heat_losses.html см. график в конце статьи, красная и синяя кривые).

Полученные результаты по определению эффективности "газовой вьюшки" на печи ОИК ХК, построенной в п. Полушкино, не выявили существенной разницы между схемами с СШ и без него.

Следует отметить, что эффект "газовой вьюшки" определялся при полностью открытой заслонке дымовой трубы и поддувале, открытом до сечения 92х115мм. В случае иной комбинации проходных сечений результат может быть иным.

Выводы

1. При сравнении результатов испытаний с использованием сухого шва и без него, на испытуемой печи значимых различий не обнаружено.
2. Обнаружены значимые различия по концентрации CO в дымовых газах. При наличии сухого шва концентрация CO в дымовых газах больше в среднем на 70% по сравнению со схемой сжигания без СШ.
3. При сравнении результатов испытаний печи с использованием сухого шва и без него, на испытуемой печи значимого эффекта "газовой вьюшки" при полностью открытой заслонке и поддувале открытом до сечения 92х115мм не обнаружено.