

УДК 614.841.343:662.9

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МУФЕЛИЗИРОВАННЫХ ПРЕДТОПКОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО МИНИМУМА ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

¹Цепенюк А.И., ¹Серант Ф.А., ¹Белоруцкий И.Ю., ¹Квривишвили А.Р.,
¹Ставская О.И., ²Полосков В.А., ³Боярченко В.Г., ³Егоров П.Р.

¹ЗАО «ЗиО-КОТЭС», г. Новосибирск, ²ОАО «Иркутскэнерго», г. Иркутск,
³Ново-Зиминская ТЭЦ, г. Саянск

В статье представлены основные технические решения по реконструкции пылеугольного котла БКЗ-420-140-6 Ново-Зиминской ТЭЦ с установкой системы муфельной подсветки.

Многие ТЭЦ России, особенно в небольших промышленных городах, по отпуску тепловой и электроэнергии привязаны к конкретному соседствующему потребителю. Это могут быть фабрики, заводы, комбинаты, в первую очередь для нужд которых проектировались и строились ТЭЦ. На сегодняшний день, ввиду невысоких объемов производства и падения потребления технологического пара, в теплый сезон Иркутские ТЭЦ вынуждены работать с малыми производственными отборами пара и низкой нагрузкой тепловых сетей. Это приводит к переходу работы теплофикационной станции в конденсационный режим, который, как известно, обуславливает снижение КПД цикла ТЭЦ, повышение стоимости выработки энергии, ее высокой цены для рынка и конечного потребителя.

В то же время из-за сложных технологических процессов на промышленных предприятиях ТЭЦ необходимо поддерживать высокую надежность снабжения паром потребителя. Это обуславливает работу ТЭЦ в летний период как минимум с двумя паровыми котлами и турбинами. Пылеугольные паровые котлы по условиям стабильности горения топлива, надежности циркуляции пароводяной смеси и нормальному водно-химическому режиму редко способны нести длительную нагрузку менее $0,5D_{\text{ном}}$. Необходимость понижения нагрузки зачастую сводится к использованию в качестве подсветки мазута, что конечно снимает описанные ограничения и позволяет снизить нагрузку до $0,3D_{\text{ном}}$, традиционно считающуюся техническим минимумом пылеугольного котла при работе на мазуте.

Однако использование мазута несет с собой ряд проблем: как технического характера, связанных с безопасной работой поверхностей нагрева, так и экологического характера, связанных с повышением содержания оксидов серы в дымовых газах. Сжигание сернистых мазутов является причиной низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей нагрева, приводящей к снижению КПД котла, повышению расхода дымовых газов через дымосос и необходимости периодической замены нижних кубов ТВП. Кроме того, мазут – дорогостоящее топливо. Совместное сжигание угля и мазута традиционно считается крайне неблагоприятным режимом работы котла.

Все это заставляет задуматься о замене жидкого топлива при подсветке эквивалентным по тепловыделению пылеугольным топливом. В данной статье описаны решения по применению для надежного зажигания и стабильного горения пылеугольных муфельизированных предтопок (муфельных горелок). Такая система муфельной подсветки разработана и внедрена на котле БКЗ-420-140-6 Ново-Зиминской ТЭЦ.

Исходные данные

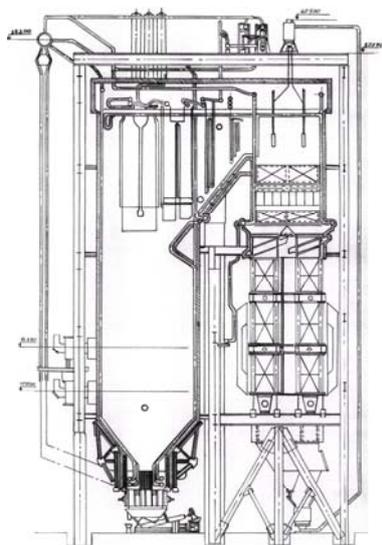


Рис. 1. Общий вид котла БКЗ-420-140-6.

Котел БКЗ-420-140-6 (ст. №3) Ново-Зиминской ТЭЦ однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией предназначен для получения пара высокого давления при сжигании азейского бурого угля с твердым шлакоудалением (рис. 1).

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топочная камера является первым восходящим газоходом. В верхней части топки расположен ширмовый пароперегреватель. В горизонтальном газоходе расположены конвективные поверхности нагрева пароперегревателя. В опускном газоходе расположены экономайзер и воздухоподогреватель.

Таблица 1. Технические характеристики котла.

Параметры	Обозначение	Величина
Номинальная паропроизводительность, т/ч	$D_{пе}$	420
Давление перегретого пара, кгс/см ²	$P_{пе}$	140
Температура перегретого пара, °С	$T_{пе}$	560 (550)
Температура питательной воды, °С	$t_{пв}$	230
Температура уходящих газов, °С	$t_{вх}$	139
Температура горячего воздуха, °С	$t_{гв}$	286

Котел оборудован четырьмя индивидуальными системами пылеприготовления с прямым вдуванием и молотковыми тангенциальными мельницами ММТ-1500/2510/740М с инерционными сепараторами.

Для организации топочного процесса топка оборудована восьмью вихревыми пылеугольными горелками, расположенными на фронтальной стене топки в два яруса. Горелки верхнего яруса расположены на отметке 14,25 м, нижнего – на отметке 10,95 м.

Котел БКЗ-420-140-6 спроектирован для сжигания бурых углей Азейского месторождения. Угли марки ЗБ, имеют среднеплавкую золу ($t_c=1420^{\circ}\text{C}$) и относятся к III группе взрывоопасности (по шкале ВТИ). Состав и характеристики используемых на станции углей приведены в табл.2. [1]

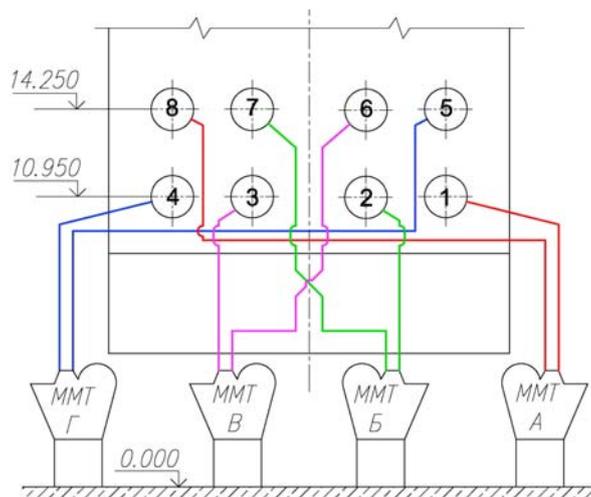


Рис. 2. Схема подключения мельниц к горелкам котла БКЗ-420-140-6 ст.№3.

Таблица 2. Состав и характеристики применяемых углей.

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Азейский уголь	Мугунский уголь
1	Q_i^r	ккал/кг	3820	4130
2	V^{daf}	%	48	46
Элементный состав топлива				
3	W^r	%	25	22
4	A^r	%	16,5	15,6
5	S^r	%	0,5	0,9
6	C^r	%	42,7	46,0
7	H^r	%	3,1	3,6
8	N^r	%	0,9	0,9
9	O^r	%	11,3	11,0

При низких нагрузках котла (от $0,5D_{ном}$ и ниже) для стабильного горения требуется подсветка мазутом. На подсветке обычно работают две форсунки с расходом мазута $\approx 2 \div 2,4$ т/ч. [1]

Описание системы муфельной подсветки

Спроектированная и внедренная система муфельной подсветки (рис.3) состоит из следующих основных элементов:

1. Муфельные горелки (2 шт.), располагающиеся на боковых стенах топочной камеры на уровне первого яруса основных горелок;
2. Делители-пылеконцентраторы (2 шт.), установленные на пылепроводах от центральных мельниц к горелкам второго яруса;
3. Пылепроводы от делителей-пылеконцентраторов до муфельных горелок;
4. Воздуховоды от коробов вторичного воздуха котла до муфельных горелок.

Задача муфельных горелок заключается в предварительной термообработке угольной пыли и подаче в топочную камеру высокотемпературного пылеугольного факела. Муфельные горелки, установленные на расстоянии ≈ 2 м от

осей фронтальных экранных труб (рис. 3), должны обеспечивать равномерное заполнение топки факелом и стабильность воспламенения основных горелок нижнего яруса. Номинальная тепловая мощность муфельных горелок ($N_{\text{муф}} = 7 \text{ МВт}$ каждая) принята эквивалентной тепловыделению от мазутных форсунок при подсветке. Таким образом, мощность муфельной горелки составляет $\approx 20 \%$ от мощности основной горелки [4].

Установленные для отбора пыли делители-пылеконцентраторы оснащены поворотным лопаточным аппаратом, который позволяет изменять количество подаваемого на муфельную горелку топлива (рис. 4).

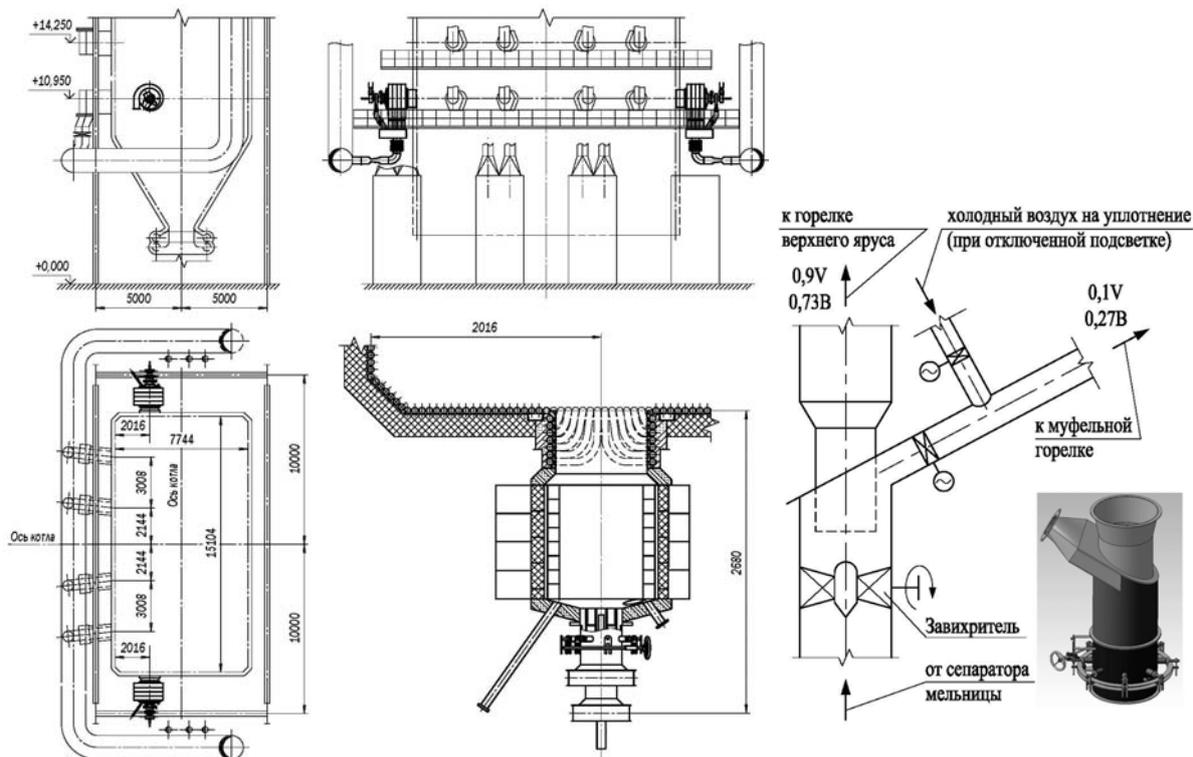


Рис. 3. Расположение муфельных горелок.

Рис. 4. Делитель-пылеконцентратор.



Рис. 5. Эскиз муфельной горелки.

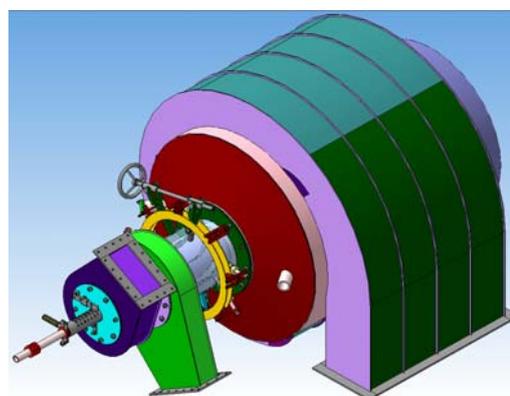


Рис. 6. Муфельная горелка. Общий вид.

Муфельная горелка (рис. 5, 6) представляет собой цилиндрическую камеру, футерованную изнутри огнеупорным материалом. На торцевой стенке располагается вихревая горелка, состоящая из двух коаксиальных каналов: внут-

ренный канал ПВС (пылевоздушная смесь), внешний – канал вторичного воздуха. В канале ПВС установлен неподвижный аксиальный лопаточный завихритель. В кольцевом канале вторичного воздуха установлен двухступенчатый аксиальный завихритель с регулируемой круткой. Регулирование крутки обеспечивается поворотом лопаток второй ступени завихрителя с помощью поворотного механизма.

Обеспечение воспламенения пылеугольного топлива осуществляется за счет излучения горячих стенок муфеля. Первоначальный разогрев стенок муфеля осуществляется за счет подачи горячего воздуха и сжигания мазута, подаваемого через мазутную форсунку. Время подачи мазута при растопке муфеля ~30–60 мин. Далее температура стенок муфеля поддерживается постоянной за счет излучения пылеугольного факела.

По всей длине предтопка имеются сопла подвода вторичного воздуха тангенциально внутренней стенки. Всего по периметру внутренней окружности предтопка имеется три равноудаленных сопла под углом 120° друг к другу. Тангенциальный ввод вторичного воздуха позволяет обеспечить равномерное выжигание топлива по мере его продвижения к выходу из муфельного предтопка, а также обеспечить охлаждение футеровки и ее защиту от наброса золоугольных частиц. Тангенциальный подвод вторичного воздуха осуществляется через улиточный завихритель, при этом по длине муфеля короб улитки разбит на четыре секции. На каждую секцию предусмотрена установка регулирующего клапана, что позволяет перераспределять подачу воздуха по длине муфеля.

Делитель-пылеконцентратор устанавливается на идущих к горелкам верхнего яруса пылепроводах обеих центральных мельниц и разделяет пылевоздушный поток на два. Одна часть потока направляется дальше к основной горелке, а вторая отбирается к муфельной горелке. Поворот регулируемых лопаток делителя-пылеконцентратора позволяет изменять концентрацию пылевоздушных потоков и, соответственно, количество топлива, идущего к муфельной и основной горелкам.

Для расчета горения угольной пыли в муфельной горелке использовался вычислительный программный комплекс ANSYS Fluent 12. Расчеты выполнены для сжигания пыли азейского угля с $Q_i^f=3819$ ккал/кг, тонкостью пыли $R_{90}=30\%$ и влажностью пыли $W_{пл}=12\%$ при температуре горячего воздуха $t_{гв}=200^\circ\text{C}$.

На рис. 7–10 приведены поля температур, скоростей по сечениям муфеля.

Как показывают результаты расчетов муфельной горелки мощностью 7 МВт, в горелочном устройстве обеспечивается стабильное горение угольной пыли, имеется активная зона рециркуляции горячих дымовых газов к корню факела, что способствует быстрому прогреву угольной пыли. Ввод тангенциального вторичного воздуха позволяет снизить температуру у стенок муфеля и защитить их от попадания угольных частиц. Средняя температура газов на выходе из муфеля составляет порядка 1260°C .

На рис. 11 представлены результаты моделирования процесса горения в топочной камере котла на нагрузке $0,3D_{ном}$, 2-мельничном режиме с подсветкой муфелями.

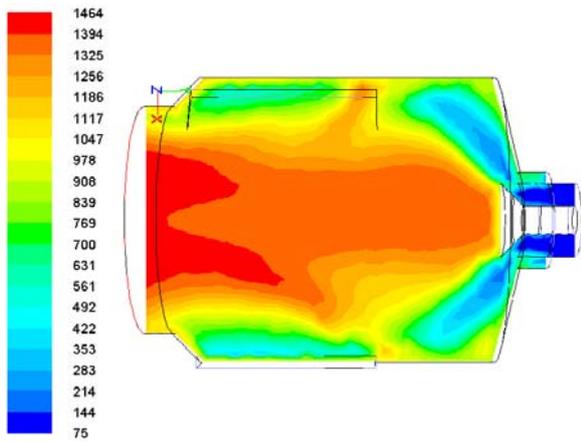


Рис. 7. Поле температур в сечении по оси горелки, °С.

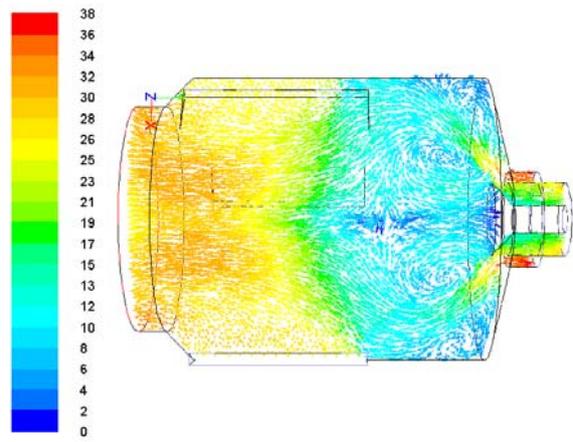


Рис. 8. Поле скоростей в сечении по оси горелки, м/с.

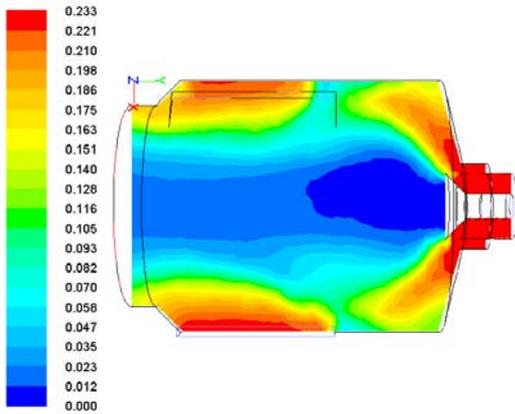


Рис. 9. Массовая доля O_2 в сечении по оси горелки, кг/кг.

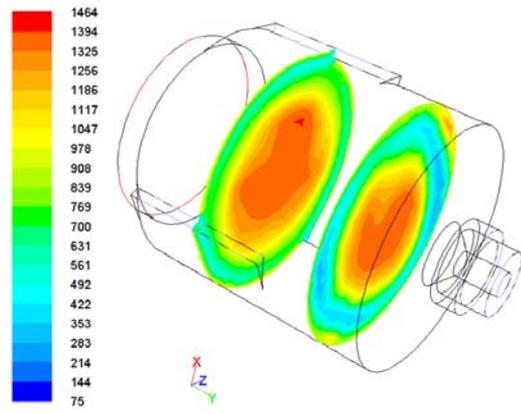


Рис. 10. Поля температур в поперечных сечениях горелки, °С.

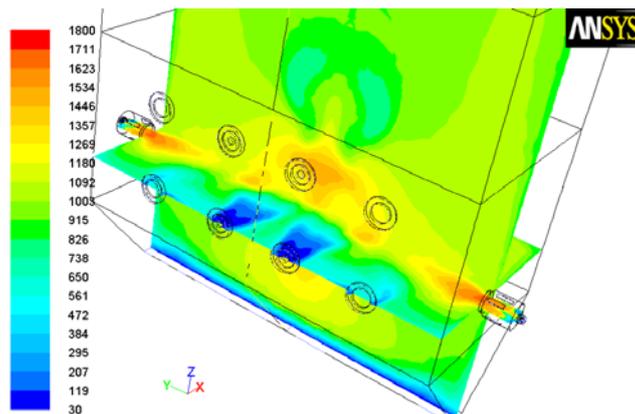


Рис. 11. Поля температур на уровне первого яруса горелок и по оси муфельных горелок, °С.

Результаты расчетов на нагрузке $0,3D_{\text{ном}}$ с муфельной подсветкой показывают, что на уровне ярусов горелок наблюдается активное горение. По результатам расчетов мощности муфеля $N=7$ МВт достаточно для поддержания стабильного процесса горения в топке котла. [1]

Результаты наладочных испытаний

В июне 2012 года на котле БКЗ-420-140-6 ст.№3 Ново-Зиминской ТЭЦ специалистами ЗАО «ЗиО-КОТЭС» совместно со специалистами ОАО «НПО ЦКТИ», ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго» при активном участии станции и теплотехнической службы ОАО «Иркутскэнерго» выполнена наладка работы системы муфельной подсветки, проверена циркуляция, проведены режимные и теплехимические испытания котла с муфельными горелками на нагрузках $(0,3-0,5)D_{\text{ном}}$.

Работа котла на пониженных нагрузках (менее $0,4D_{\text{ном}}$) по условиям приемлемого скоростного режима работы основных горелок обеспечивается работой двух средних мельниц.

При работе муфельных горелок обеспечивается устойчивость факела основных горелок и общего факела в топочной камере во всем диапазоне проверенных нагрузок.

Муфельные горелки обеспечивают подачу в топочную камеру горящего факела с температурой $1200-1350^{\circ}\text{C}$. Горящий факел от муфельных горелок распространяется на $1,5-4$ м вглубь топочной камеры.

При нагрузке $0,3D_{\text{ном}}$ воспламенение основных горелок нижнего яруса начинается на расстоянии $\sim 0,5-1,0$ диаметра амбразуры, верхнего яруса – на расстоянии $\sim 0,3-0,7$ диаметра амбразуры от оси экранных труб.

Светимость факела определялась по показаниям датчиков контроля факела (ДКФ), установленных на боковых стенах топочной камеры выше второго яруса горелок. Даже при минимальной проверенной нагрузке $0,3D_{\text{ном}}$ показатель светимости превышал минимально допустимый порог по срабатыванию защиты погасания факела. Это говорит об устойчивости общего пылеугольного факела в топке.

На первом этапе проведения испытаний тепловая мощность каждой муфельной горелки составляла $N_{\text{муф}} \approx 3\text{МВт}$, в этот же период сотрудниками ОАО «НПО ЦКТИ» проводились испытания по проверке циркуляции (гидродинамические испытания) и теплехимические испытания котла. Указанная мощность муфельных горелок обеспечивалась отводом $\approx 8-13\%$ пыли из пылепроводов верхних горелок. [2]

Включение в работу муфельных горелок даже при небольшой их мощности приводит к улучшению циркуляции.

При работе котла с нагрузками $0,3D_{\text{ном}}$ и работающими муфельными горелками отмечается устойчивая циркуляция пароводяной среды. Проведение паровой обдувки экранов топки, периодической продувки экранов не приводит к нарушению циркуляции.

Проведенные специалистами ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго» теплехимические испытания котла на разных нагрузках (включая $0,3D_{\text{ном}}$) не выявили каких-либо существенных отклонений от нормального режима. [3]

По результатам испытаний при работе с минимальной нагрузкой $0,3D_{\text{ном}}$ ($125 - 132$ т/ч) котел обеспечивает допустимые по условиям работы станции параметры пара.

Первый этап пуско-наладочных работ и испытаний системы муфельной подсветки показал ее некоторые конструктивные недоработки. Тем не менее, был достигнут требуемый результат несения нагрузок $(0,3-0,5)D_{ном}$ без подсветки мазутом и хорошей степенью надежности работы котла в целом.

Заключение

Принятая конструкция муфельных горелок мощностью $3\div 8$ МВт для котла БКЗ-420-140-6 ст.№3 Ново-Зиминской ТЭЦ позволяет нести длительную нагрузку котла $(0,3 - 0,5)D_{ном}$ в соответствии с диспетчерским графиком и запросами потребителей без использования мазута в качестве стабилизирующего топлива.

Применение системы муфельной пылеугольной подсветки обеспечивает стабильное надежное горение в топочной камере в диапазоне минимальных нагрузок $(0,3 - 0,5)D_{ном}$, при этом обеспечивается устойчивый гидравлический режим и отсутствуют существенные отклонения от нормального теплотехнического режима котла.

Литература

1. Пояснительная записка №ЗКТ-ПКО.11/10.100000 ПЗ по проекту «Разработка системы муфельной подсветки котла БКЗ-420-140-6 ст.№3 Ново-Зиминской ТЭЦ». ЗАО «ЗиО-КОТЭС». Новосибирск, 2011г.
2. Заключение по работе «Выполнение расчетов и проведение испытаний циркуляции в контурах котла БКЗ-420-140-6 ст. №3 (паровой котел ст.№3, инв. 044927) при нагрузках $D_k=(0,5-0,3)D_{ном}$ ». ОАО «НПО ЦКТИ». Санкт-Петербург, 2012г.
3. Отчет по теплотехническим испытаниям котла БКЗ-420-140-6 ст. №3 Ново-Зиминской ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго», ООО «Инженерный центр «Иркутскэнерго». Иркутск, 2012г.
4. Муфельные горелки их конструкция и эксплуатация (сборник работ всесоюзного ордена трудового красного знамени теплотехнического научно-исследовательского института им. Ф.Э. Дзержинского). Под редакцией Н.Л. Ойвина. М.: Госэнергоиздат, 1947.