

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический Институт
институт
Тепловые электрические станции
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Е.А.Бойко
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Проект реконструкции котла ПК-38 Назаровской ГРЭС с переводом на твердое
шлакоудаление

тема

13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления

13.04.01.02 Энергоэффективные технологии производства электрической и
тепловой энергии

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	_____	_____	<u>П.В.Шишмарев</u>
	подпись, дата,	должность,	ученая степень,	инициалы, фамилия
Выпускник	_____			<u>С.В.Мелихов</u>
	подпись, дата			инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	_____	<u>П.Ю.Гребеньков</u>
	подпись, дата,	должность,	ученая степень,	инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____			<u>П.В.Шишмарев</u>
	подпись, дата			инициалы, фамилия

Красноярск 2017

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Проект реконструкции котлоагрегата ПК-38 Назаровской ГРЭС с переводом на твердое шлакоудаление» содержит 114 страниц текстового документа, 98 иллюстраций, 19 использованных источников.

РЕКОНСТРУКЦИЯ, КОТЛОАГРЕГАТ, ШЛАКОВАНИЕ, ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ, ПАРОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ГОРЕЛКА, РАСЧЕТ.

Цель работы:

- разработка действующего варианта реконструкции с целью минимизации шлакования поверхностей нагрева и вывода пылеугольного котла на номинальную паропроизводительность 270 тонн в час.

Вопросы загрязнения и шлакования поверхностей нагрева пылеугольных котлов по сегодняшний день сохраняют свою актуальность, несмотря на огромный вклад в исследования парогенераторов и углей. Так же большой опыт проектирования и эксплуатации котельного оборудования при сжигании различных углей. Традиционные проблемы характеризуются большим экономическим ущербом, связанным с образованием шлаковых отложений из-за несовершенства конструкций котлов, методов их расчета и контроля. К числу новых задач относятся: освоение новых и нетрадиционных технологий сжигания топлива; проработка новых эффективных вариантов реконструкции с целью их дальнейшего внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Общее описание котла П-38 (Характеристики объекта реконструкции).....	8
2 Обоснование вариантов реконструкции.....	10
3 Требования к техническому перевооружению котла.....	13
3.1 Состав и характеристики топлива.....	13
4 Границы проектирования.....	18
5 Состав и описание основных конструктивных и объемно-планировочных решений.....	20
5.1 Установка новых дымососов рециркуляции газов.....	20
5.2 Установка новых инерционных сепараторов.....	22
5.3 Установка направляющих патрубков (пламегасителей) для безопасного отвода возможных выхлопов от предохранительных клапанов сепараторов мельниц.....	23
5.4 Замена трубопроводов подвода воздуха на уплотнение валов Мельниц..	24
5.5 Установка трубопроводов пароводотушения мельниц.....	25
5.6 Установка новых пылеугольных горелок, сопел нижнего и пристенного дутья.....	26
5.7 Техническое перевооружение газопроводов сушильного агента.....	27
5.8 Замена бункера шлакоудаления.....	30
5.9 Замена электродвигателей дымососов.....	30
5.10 Техническое перевооружение поверхностей нагрева.....	31
5.11 Замена паромазутопроводов и их арматуры к горелкам котла.....	32
5.12 Установки аппаратов паровой обдувки ширм и водяной обдувки НРЧ .	33
6 Разработка и обоснование выбора схемы сжигания. Мероприятия по оптимизации работы топочно-горелочного устройства.....	34
6.1 Горелочные устройства и сопла.....	36

7	Теплогидравлические расчёты котла	43
7.1	Тепловой расчет нагрузка 100% Дном.....	45
7.2	Тепловой расчет на нагрузку 70% Дном	46
7.3	Тепловой расчет на нагрузку 50% Дном	47
8	Расчет системы пылеприготовления	48
9	Аэродинамические расчеты котла.....	54
10	Математическое моделирование топочных процессов.....	75
10.1	Результаты математического моделирования топочных процессов в топке котла.....	78
11	Системы очистки поверхностей нагрева	106
11.1	Водяная обдувка экранов топочной камеры	107
11.2	Паровая обдувка ширмовых поверхностей нагрева	111
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	114

ВВЕДЕНИЕ

Назаровская ГРЭС — тепловая электростанция ГРЭС расположенная в городе Назарово. Дата основания – 9 ноября 1961 г. Станция строилась вблизи крупных месторождений канско-ачинских энергетических углей и планировалась как флагман тепловой энергетики Красноярского края. Её проектная мощность составляла 1400 МВт. И хотя на эти показатели станция не вышла, достигнув 1210 МВт, она и сегодня является одной из крупнейших тепловых электростанций Сибири. Назаровская ГРЭС является одним из крупнейших поставщиков электрической энергии на рынок.

Назаровская ГРЭС находится на пересечении магистральных электрических сетей. Через территорию станции проходит линия электропередачи 500 кВ, передающая электроэнергию в Красноярск и города края – Ачинск, Ужур, Лесосибирск, а также в соседние регионы – Кузбасс, Республику Хакасия и Республику Тыва. Кроме того, станция обеспечивает теплом промышленные и сельскохозяйственные предприятия, предприятия социальной сферы и жилые дома города Назарово.

Станция работает главным образом в конденсационном режиме, вырабатывая преимущественно электроэнергию, но может работать и в теплофикационном режиме. Станция использует в качестве топлива бурый уголь разреза «Назаровский» (Канско-Ачинский угольный бассейн), расположенного в пяти километрах от ГРЭС. Станция и угольный разрез являются градообразующими предприятиями города Назарово. Тепловая электростанция расположена на левом берегу притока Оби — Чулыма, вода которой используется в целях её охлаждения. По проекту станция должна была иметь мощность 1 400 МВт. Оборудование включает 6 блоков мощностью по 135 МВт и 1 энергоблок мощностью 498 МВт, 12 паровых котлов производительностью по 270 $\frac{1}{4}$ и 2 котла по 650 $\frac{1}{4}$. Ввод в эксплуатацию последнего блока был осуществлён в 1968 году. Для него была сооружена дымовая труба №4 высотой двести пятьдесят метров. Станция может работать как в конденсационном, так и в теплофикационном режимах. Среднегодовая выработка электричества составляет приблизительно 5,4 млрд кВт·ч, тепловой энергии — 588 тыс. Гкал.

Станция возводилась как флагман тепловой энергетики Красноярского края. В середине прошлого века начался бурный рост промышленности нашей страны, освоение новых нефтегазовых, угольных месторождений Сибири. Все это требовало увеличения количества электроэнергии. В 1963 году вышло постановление Совета Министров СССР о создании опытного энергоблока единичной мощностью 500 МВт. Местом его строительства была выбрана Назаровская ГРЭС, расположенная вблизи разведанных месторождений канско-ачинских углей, на которых предполагалось построить более десяти сверхмощных ТЭС. Проект экспериментального энергоблока №7 разрабатывался Ленинградским отделением института «Теплоэнергопроект».

Актуальность: Вопросы загрязнения и шлакования поверхностей нагрева пылеугольных котлов по сегодняшний день сохраняют свою актуальность, несмотря на огромный вклад в исследования парогенераторов и углей. Так же большой опыт проектирования и эксплуатации котельного оборудования при сжигании различных углей. Традиционные проблемы характеризуются большим экономическим ущербом, связанным с образованием шлаковых отложений из-за несовершенства конструкций котлов, методов их расчета и контроля. К числу новых задач относятся: освоение новых и нетрадиционных технологий сжигания топлива; проработка новых эффективных вариантов реконструкции с целью их дальнейшего внедрения.

Статистический анализ видов и причин отказов паровых котлов при сжигании твердых органических топлив показывает, что одной из основных причин аварийных остановов котельных агрегатов является низкая надежность работы полурадационных и конвективных поверхностей нагрева, вследствие их интенсивного шлакования и загрязнения. В первую очередь это вызвано особенностями компоновки и жесткими температурными условиями работы поверхностей нагрева. В связи с этим существенно возрастает роль научно-обоснованного подхода при выполнении проектных расчетов.

Одним из определяющих факторов эффективного проектирования современных энергетических котельных агрегатов является нахождение рациональных конструктивных характеристик и компоновочных решений поверхностей нагрева, обеспечивающих высокий уровень их тепловой эффективности при работе средств очистки и надежности эксплуатации. Выбор таких решений зависит во многом от вида сжигаемого топлива, характера теплообмена, ряда конструктивных и режимных параметров.

В настоящее время научно-исследовательская деятельность в области реконструкций котельного и вспомогательного оборудования внесла большой вклад в энергетику. В этой связи работа по исследованию и разработке расчетных и конструктивных решений по улучшению режимных характеристик котельного оборудования является особенно актуальной.

Объект исследования: Основное и вспомогательное оборудование котла ПК-38 Назаровской ГРЭС.

Предметом исследования: являются процессы, протекающие в топке котла ПК-38 в составе шести энергоблоков НГРЭС, недостатки в конструктивных особенностях котлов, старое исчерпавшее свой рабочий ресурс оборудование.

Цель работы: разработка действующего варианта реконструкции с целью минимизации шлакования поверхностей нагрева и вывода пылеугольного котла на номинальную паропроизводительность 270 тонн в час.

Научная новизна: Перечень мероприятий по переводу котлоагрегата на твердое шлакоудаление, а так же минимизации шлакования и вывода котлоагрегата на номинальную производительность 270 тонн в час.

1 Общее описание котла П-38

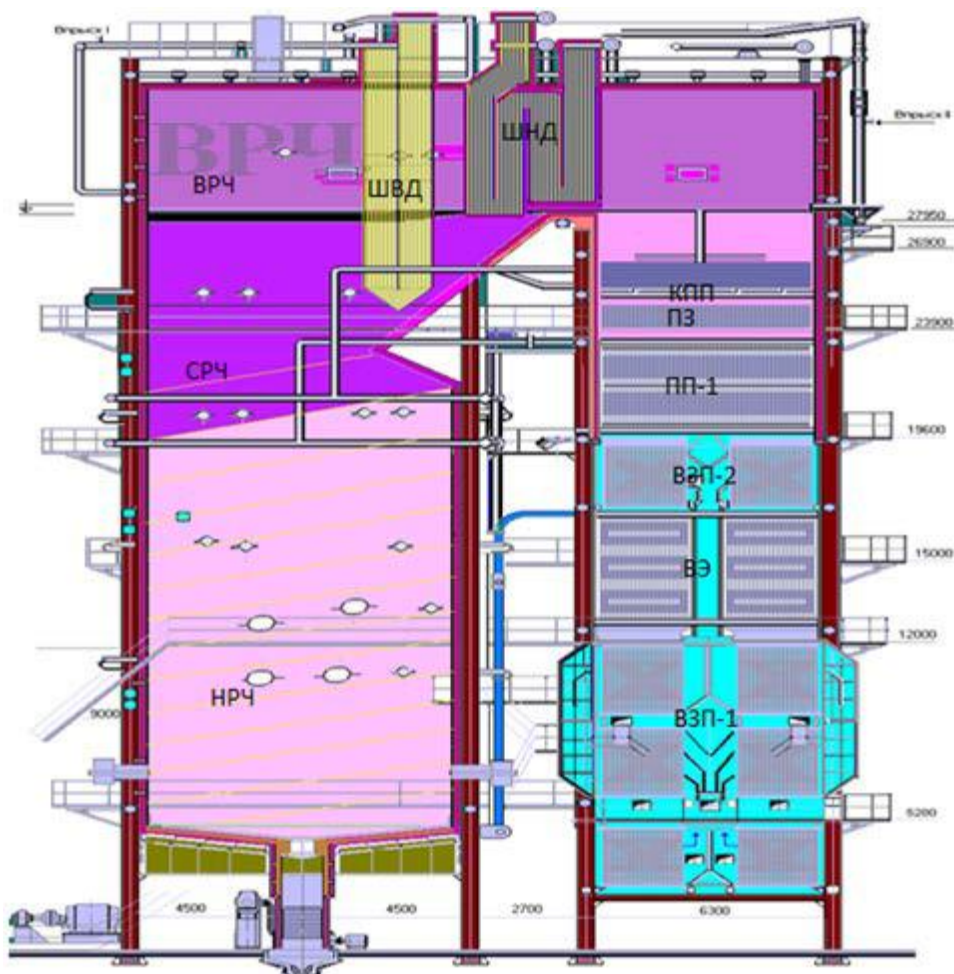


Рисунок 1 - Общий вид котла ПК-38 Проектное исполнение

Прямоточный паровой котел ПК-38 Назаровской ГРЭС (рисунок 1.) изготовлен заводом «ЗиО», г. Подольск. Котёл спроектирован на жидкое шлакоудаление и предназначен для сжигания Назаровского бурого угля.

Проектные (заводские) параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Проектные (заводские) параметры котла ПК-38

№	Наименование	Значение
1	Номинальная паропроизводительность по первичному пару	270 т/ч
2	Номинальная паропроизводительность по вторичному пару	240 т/ч
3	Давление первичного пара	13,8 МПа
4	Давление вторичного пара	3,1 МПа
5	Температура первичного пара	545 °С
6	Температура вторичного пара	545 °С
7	Температура питательной воды	233 °С

Котёл ПК-38 выполнен по П-образной компоновке поверхностей нагрева и опирается на собственный каркас. Топочная камера в проектном исполнении прямоугольного сечения с размерами в плане 7 980×10 120 мм, экранирована поверхностями нагрева НРЧ,СРЧ, ВРЧ и ПЭ и оборудована четырьмя щелевыми горелками,расположенными фронтально. В верхней части топки над аэродинамическим выступом расположен ширмовый пароперегреватель первичного пара (ШПП), далее за ним, в горизонтальном газоходе - ширмовый пароперегреватель вторичного пара (ШВП).

В конвективной шахте по ходу газов расположены пакеты конвективного пароперегревателя высокого давления (КПП), переходная зона (ПЗ), два яруса пакетов четвёртого хода ТВП, три яруса пакетов водяного экономайзера (ВЭ-в рассечку ТВП) и пакеты первых трёх ходов ТВП. В заводской (проектной) документации регулирование температуры перегрева пара низкого давления обеспечивалось за счет байпасирования КВП-1 Регулирование температуры перегрева пара высокого и низкого давления в настоящее время производится непосредственно впрысками. Предварительный подогрев холодного воздуха осуществляется за счет рециркуляции горячего воздуха на всас дутьевых вентиляторов (ДВ). Система пылеприготовления замкнутая (в проектном исполнении) с прямым вдуванием, с воздушной сушкой и установкой четырёх мельниц с гравитационным сепаратором. Шлакоудаление жидкое, механизированное . На котле применена кирпичная обмуровка. Изоляционный слой обмуровки выполнен из известковых кремнеземистых плит. Плотность газового тракта котла достигается за счёт металлической обшивки. За период эксплуатации котлов ПК-38 Назаровской ГРЭС с 1963 по 1967 гг. из-за интенсивного шлакования топок их длительная нагрузка не превышала 180 т/час.

2 Обоснование вариантов реконструкции

На данный момент на всех котлах ПК-38 остается актуальной задача обеспечения номинальной паропроизводительности, которая не достигается из-за чрезмерного шлакования топочных экранов, ширмового пароперегревателя (в меньшей степени) и плотных конвективных пакетов пароперегревателя.

В связи с этим, разработаны несколько вариантов реконструкции котла, из них выбран один наиболее надежный вариант.

Один из вариантов реконструкции подразумевает ;

1. Перевод котла на твердое шлакоудаление с помощью скребкового транспортера.

2. Установка 8 пылеугольных вихревых горелок лопаточно-вихревого типа, с регулируемой круткой потока вторичного воздуха, расположенными на фронтальной стене в 2 яруса.

3. Замена старых калориферов на новые более мощные , для предварительного подогрева холодного воздуха .

4. Внедрение замкнутой системы пылеприготовления с прямым вдуванием и установкой 4 среднеходовых мельниц МДС-33.

5. Регулирование температуры перегрева пара высокого давления осуществлять впрыском, а регулирование температуры перегрева пара низкого давления байпасированием КВП-1

6. Повысить плотность газового тракта котла с помощью установки новой наружной металлической обшивки.

7. Замена дымососов на новые ДОД-21,5 “Сибэнергомаш”.

8. Так же произвести анализ повреждений и износа поверхностей нагрева и частично заменить их на новые.

Данный вариант реконструкции возможно выведет котел на номинальную паропроизводительность 270 т/ч и частично справится с проблемами шлакования.

Следующий вариант был спроектирован и разработан по результатам проведенных обследований основного и вспомогательного оборудования, а также проведенным испытаниям котла ПК-38 ст.6А можно сказать, что частично оборудование котла требует замены или проведения ряда ремонтно-восстановительных работ.

Для дальнейшей надежной и экономичной работы основного и вспомогательного оборудования котла , планируется реализовать следующие мероприятия, направленные на уменьшение шлакования поверхностей нагрева котла, достижение проектной паропроизводительности:

1. Модернизация системы пылеприготовления с реализацией газовой сушки топлива и установкой дымососов рециркуляции газов. В связи с этим удаление 4-ого хода ТВП с восстановлением обмуровки конвективной шахты, также необходимо заглушить воздухопровод в конвективной шахте от 3- его до 4-ого хода ТВП, с заменой материала его верхней части на 12ХМ.

2. Установка новых инерционных сепараторов на мельницах.
 3. Установка на боковых стенах топочной камеры низкоэмиссионных прямоточно-вихревых горелок. Соответственно изменить систему воздухопроводов, установить регулирующие шиберы и расходомерные устройства на линиях подачи воздуха к основным горелкам, соплам нижнего и бокового дутья.
 4. Установка новых эффективных аппаратов водяной обдувки топочных экранов с определением места их расположения с целью минимизации возможности образования несмываемых отложений.
 5. Установка новых дополнительных ширм первичного пароперегревателя.
 6. Установка дополнительных аппаратов паровой пушечной обдувки для существующих ширм ВД и новых ширм устанавливаемых при техническом перевооружении котла.
 7. Демонтировать систему нижнего дутья (с выступом в шлаковом бункере), применявшуюся в ВИР технологии.
 8. Произвести опрессовку и устранить неплотности по топке и газовому тракту котла, произвести уплотнение потолка, леток шлака, а также ремонтных лазов, люков, гляделок.
 9. Устранить присосы в газоходах от ВЗП до дымососов.
 10. Провести замену поверхностей нагрева:
 - водяной экономайзер;
 - блоки 18, 23а, 23з фронтального экрана СРЧ;
 - тыловой, левый боковой экраны СРЧ;
 - потолок;
 - ширмы острого пара;
 - входные ширмы промпара;
 - выходные ширмы промпара (необогреваемая часть)
 - НРЧ горелочный блок;
 - НРЧ экраны;
 - блоки 18а, 19а, 21а, 24, 28, 31, 33, 35 СРЧ;
 - КПП (необогреваемые трубы 12Х1МФ);
 - выходные ширмы промпара.
 11. Выполнить ремонт и провести качественную механическую очистку труб всех поверхностей нагрева, подлежащих замене, для удаления вторичных и плотных первичных отложений.
 12. Выполнить ремонт элементов крепления и дистанционирующих элементов поверхностей нагрева.
 13. С учетом перевода пылесистем на газовую сушку требуется демонтировать линии подвода горячего воздуха к мельницам и смонтировать систему газопроводов топочных газов
 14. Перевод котла на твердое шлакоудаление.
- Технические решения разработаны с учетом обеспечения надежной работы котла, минимизации шлакования топочной камеры, обеспечения

номинальной производительности $D_{ном}=270$ т/ч, увеличения экономичности котла, и включают в себя следующие основные направления:

– техническое перевооружение системы пылеприготовления с переходом на газовую сушку;

– техническое перевооружение системы сжигания с переходом на пылеугольное факельное сжигание топлива.

Совокупность указанных технических решений (при условии реализации в полном объеме ремонтно-восстановительных работ с обеспечением нормативных присосов в газовый тракт котла) позволит достичь гарантированные показатели по номинальной паропроизводительности и существенно уменьшить шлакование поверхностей нагрева.

Данный вариант реконструкции наиболее точный и надежный по отношению к первому варианту, так как является более проработанным и гарантированно выводит котлоагрегат на номинальную паропроизводительность, а так же решает проблему шлакования. Разработанные конструктивные и объемно-планировочные решения по всем разделам проекта предусматривают принципиальную возможность их применения для других котлов типа ПК-38 Назаровской ГРЭС.

3 Требования к техническому перевооружению котла

Основные целевые технико-экономические параметры работы котла ПК-38 при нормальных эксплуатационных условиях приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Техничко-экономические параметры работы котла

№	Наименование	Значение
1	Номинальная производительность по первичному пару, т/ч	270
2	Номинальная производительность по вторичному пару, т/ч	240
3	Давление первичного пара, кгс/см ²	140
4	Давление вторичного пара, кгс/см ²	32
5	Температура первичного пара, °С	545
6	Температура вторичного пара, °С	545
7	Расчетный КПД, %	≥90

3.1 Состав и характеристики топлива

Для расчетов котла и котельно-вспомогательного оборудования в качестве основного топлива приняты угли марки 2БР открытых разработок Назаровского месторождения, представленных в таблицах 3, 4,5,6.

Таблица 3 - Состав и характеристики проектного топлива.

№	Наименование	Обозначение	Топливо Бурый марки 2БР
1	Месторождение	-	Назаровское
2	Низшая теплота сгорания (рабочая), ккал/кг	Q _i	3240
3	Выход летучих на горючую массу, %	V _{daf}	48

Таблица 4 - Элементный состав топлива на рабочую массу

№	Наименование	Обозначение	Количество
1	Влага %	W _r	39,0
2	Зола%	A _r	7,3
3	Сера, %	S _r	0,59
4	Углерод, %	C _r	38,55
5	Водород, %	H _r	2,63
6	Азот, %	N _r	0,45
7	Кислород, %	O _r	11,48

Таблица 5 - Элементный состав топлива на сухую беззольную массу

№	Наименование	Обозначение	Количество
12	Сера, %	S _{daf}	1,09
13	Углерод, %	C _{daf}	71,79
14	Водород, %	H _{daf}	4,9
15	Азот, %	N _{daf}	0,84
16	Кислород, %	O _{daf}	21,38
17	Сумма компонентов, %	Σ	100
18	Коэффициент размолоспособности по Хардгроу по методу ВТИ	ККНГ	51,01
		КВТИ	1,08
		ЛО	
19	Критерий взрываемости Группа взрывоопасности	Кт	2,61 III (Кт=1,5-3,5)

Таблица 6 - Состав минеральной части топлива и плавкостные характеристики золы

Физико-химические характеристики золы		Назаровский
Оксид кремния, %	SiO ₂	25,5
Оксид алюминия, %	Al ₂ O ₃	12,2
Оксид титана, %	TiO ₂	0,4
Оксид железа, %	Fe ₂ O ₃	17,6
Оксид кальция, %	CaO	38,1
Оксид магния, %	MgO	3,5
Оксид калия, %	K ₂ O	0,1
Оксид натрия, %	Na ₂ O	0,3
Серный ангидрид, %	SO ₃	-
Оксид марганца, %	MnO	-
Прочие, %	P ₂ O ₅	-
Сумма компонентов, %	Σ	97,7
Температура начала деформации золы, °С	t _A	1175
Температура полусферы (начала размягчения золы), °С	t _B	1200
Температура жидкоплавкого состояния золы, °С	t _C	1225

Мазут является растопочным топливом, а также предназначен для подхвата и подсветки факела на пониженных нагрузках при срабатывании защиты от потускнения общего факела (таблица 7).

Таблица 7 - Состав, характеристика и параметры мазута

Состав, характеристика и параметры	Мазут «М 100»
1. Низшая теплотворная способность рабочей массы, $Q_{гi}$, ккал/кг	9961
2. Элементарный состав, %:	82,64
углерод, C_r	11,32
водород, H_r	0,49
кислород+азот, O_r+N_r	1,12
сера, S_r	1,2
влажность, W_r	Следы
зольность, A_r	0,05

Для подробной оценки шлакующих свойств золы рассматриваемых углей применялась расчетная методика, разработанная УралВТИ.

Оценка шлакующих свойств золы проводится по следующим показателям:

1. Температура начала шлакования $t_{шл}$ (°C). Для углей с низким содержанием щелочных компонентов ($Na_2O < 2,8$) температура шлакования приближенно может быть описана уравнением, которое находится в зависимости от соотношения компонентов кислого и основного состава в минеральной части, $K/O < 2,25$: $t_{шл} = 940 + 52,23/(K/O)$, где

K - сумма кислых компонентов;

O - сумма основных компонентов.

2. Склонность к образованию прочных железистых отложений, P_{Fe} . Значение показателя P_{Fe} приведено с коэффициентами, как для бурых углей:

$P_{Fe} = 0,856 - [0,567 / (S_{pash}(1 - 0 C_{ад}) + 0,1 \cdot (0,813 Fe_2O_3 - S_{pash}))]$, где

S_{pash} – содержание пиритной серы в пересчете на золу, %;

$C_{ад}$ - адиабатическая температура горения, °C.

3. Склонность к образованию низкотемпературных отложений на основе активного натрия P_{Na} : $P_{Na} = 0,416 \cdot (Na_2O_a)^{0,313}$, где Na_2O_a - содержание активного натрия в минеральной части, %.

4. Склонность к образованию сульфатно-кальциевых отложений P_{Ca} . Метод оценки склонности углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений происходит от гипотезы, что образование сульфатнокальциевых отложений и низкотемпературных загрязнений являются конкурирующими процессами и образуются те из них, скорость формирования которых выше: $P_{Ca} = 0,5 \cdot (CaO_{раств})^{0,22} - P_{Na}$, где CaO - количество кальция в составе

минеральной части,%; при $P_{na} < 0,25$ в расчетах принимается 0,25, что соответствует образованию отложений из частиц золы.

5. Комбинированный индекс склонности углей к шлакованию топки $R_{st}: R_{st} = 0,707(P_{Fe2} + P_{Ca2})^{0,5}$, где $P_{Ca} = 1 - 13,275 \cdot (K/O) / (0,82 \cdot C_{ад} \cdot 945)$, $C_{ад}$ - адиабатическая температура горения, °С (принята по предварительным тепловым расчетам на уровне 1440 °С).

Общая классификация углей по показателям шлакующих и загрязняющих свойств УралВТИ представлена в таблице 8.

Расчетные параметры шлакующих свойств рассматриваемых бурых углей сведены в таблицу 8.

Таблица 8 - Показатели шлакующих и загрязняющих свойств

Показатель	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Потенциал шлакования полу-радиационных и конвективных поверхностей нагрева по тшл, °С	>1100	1020-1100	980-1020	<980
Склонность к образованию железистых отложений, P_{Fe}	<0,25	0,25-0,5	0,5-0,72	>0,72
Склонность к образованию загрязнений на базе активного натрия, P_{Na}	Не образуются <0,4	0,4-0,5	0,5-0,7	>0,7
Склонность к образованию сульфатно-кальциевых отложений, P_{Ca}	Не образуются <0,42	0,42-0,6	>0,6	-
Комбинированный индекс склонности к шлакованию, R_{st}	<0,42	0,42-0,62	0,62-0,75	>0,75

Таблица 9 - Расчетные показатели шлакования и загрязнения

Марка угля	Назаровский
Потенциал шлакования полурадиационных и конвективных поверхностей нагрева по тшл, °С	Высокая 980-1020
Склонность к образованию железистых отложений, P_{Fe}	Очень Высокая >0,72
Склонность к образованию загрязнений на базе активного натрия, P_{Na}	Не образуется <0,4
Склонность к образованию сульфатно-кальциевых отложений, P_{Ca}	Высокая >0,6
Индекс склонности к шлакованию, R_{st}	Очень высокая >0,75

Анализ шлакующих и загрязняющих свойств углей (таблица 9) позволяет сделать вывод, что можно прогнозировать высокий уровень загрязнения поверхностей топки котла при превышении расчетных допустимых температур в зоне основного горения при набросах факела на топочные экраны и на выходе из топочной камеры - вблизи радиационных поверхностей нагрева. Расчетная температура начала шлакования для данных углей находится в диапазоне $t_{шл}=968-998$ °С.

Выводы:

Результаты анализа подтверждают склонность назаровского угля к шлакованию. Для обеспечения бесшлаковочной работы котла при использовании бурых углей Канско-Ачинского месторождения, марок «2БР» требуется поддержание температуры газов на выходе из топки, не выше $T_{г''}=1100$ °С (что соответствует техническому заданию на проектирование АО «Назаровская ГРЭС»), а перед конвективными пакетами не выше 950 °С. Для уменьшения шлакования стен топки необходимо изменение схемы и технологии сжигания, также целесообразно внедрение системы водяной обдувки стен топки котла и системы паровой обдувки ширмово-конвективных поверхностей пароперегревателя.

4 Границы проектирования

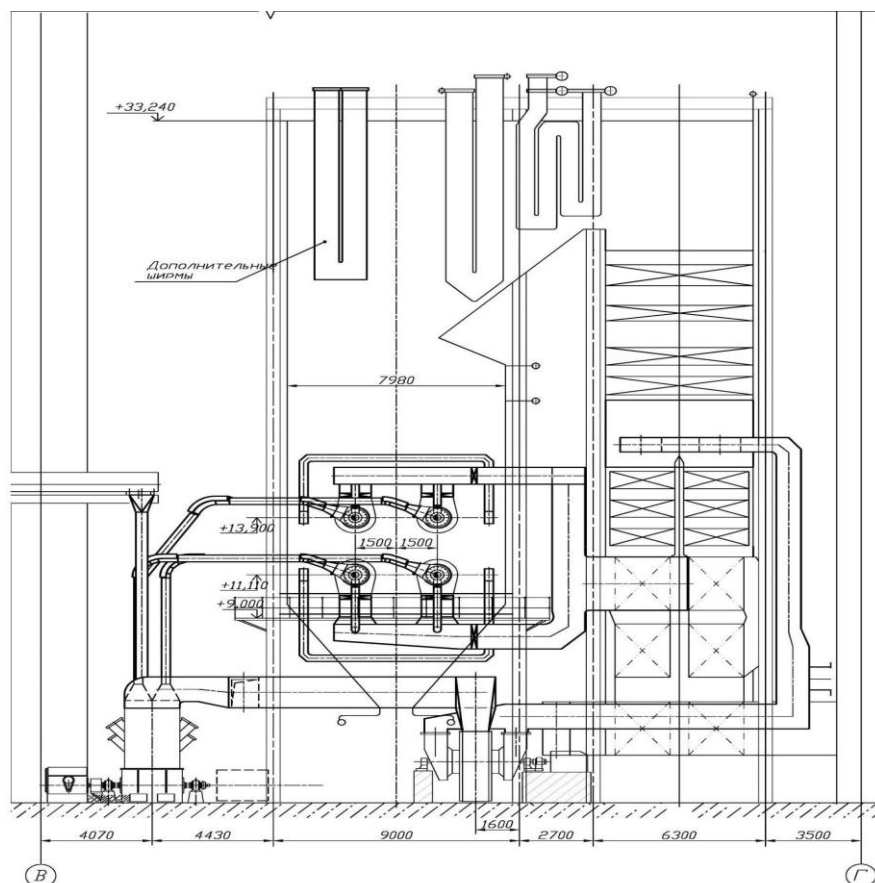


Рисунок 2 - ПК-38 реконструкция

В объем технического перевооружения котла ПК-38 в соответствии с разрабатываемой проектной и рабочей документацией входит:

1. Переход на взрывобезопасную газовую сушку топлива.
 - 1.1. Установка новых дымососов рециркуляции газов (ДРГ);
 - 1.2. Установка новых инерционных сепараторов со взрывными клапанами к мельницам;
 - 1.3. Установка направляющих патрубков (пламегасителей) для безопасного отвода возможных выхлопов от предохранительных клапанов сепараторов мельниц;
 - 1.4. Замена течек сырого угля с мигалками;
 - 1.5. Замена трубопроводов подвода воздуха на уплотнение валов мельниц для исключения пыления;
 - 1.6. Установка трубопроводов пароводотушения мельниц с подачей агентов в сепараторы.
2. Переход на схему сжигания с вихревыми регулируемыми горелками:
 - 2.1. Установка новых пылеугольных горелок;
 - 2.2. Установка новых сопел нижнего и пристенного дутья.
3. Техническое перевооружение пылегазовоздухопроводов:
 - 3.1. Газопроводы отбора газов из конвективной шахты к ДРГ;

- 3.2. Газопроводы отбора холодных уходящих газов из газоходов за дымососами;
- 3.3. Газопроводы подачи инертных дымовых газов на сушку к мельницам;
- 3.4. Пылепроводы подачи пылегазовой смеси к горелкам котла;
- 3.5. Воздуховоды от воздухоподогревателя (ТВП) к горелкам и соплам котла.
4. Замена бункера шлакоудаления;
5. Замена электродвигателей дымососов на более мощные новые;
6. Технической перевооружение поверхностей нагрева и трубопроводов котла:
 - 6.1 Увеличение поверхности широмового пароперегревателя за счет установки дополнительного нового пакета;
 - 6.2 Установка разводов потолочного экрана в местах прохода топочных ширм;
 - 6.3 Установка новой НРЧ с разводками труб под новые горелки, сопла, аппараты водяной обдувки, лючки и лазы;
 - 6.4 Уменьшение поверхности воздухоподогревателя за счет исключения верхнего куба ТВП;
 - 6.5 Перетрассировка трубопровода первичного пара в месте установки пакета топочных ширм;
 - 6.6 Перетрассировка трубопроводов питательной воды на площадке установки горелок.
7. Установка ограждающего газохода в районе верхней ступени ТВП;
8. Замена паромазутопроводов и их арматуры к горелкам котла.
9. Установки аппаратов паровой обдувки пакета топочных ширм и водяной обдувки НРЧ;
10. Установка трубопроводов подвода воздуха к датчикам контроля факела;
11. Замена обмуровки в местах изменений ограждающих поверхностей газоходов котла;
12. Установка новых и техническое перевооружение существующих площадок обслуживания и лестниц котла в местах внесения конструктивных изменений;
13. Перетрассировка трубопроводов осветленной воды, горячей сетевой воды;

5 Состав и описание основных конструктивных и объемно-планировочных решений

5.1 Установка новых дымососов рециркуляции газов

Новые дымососы рециркуляции газов ДРГ-18 в количестве 2 шт. устанавливаются на отм. 0,000 в осях «б» - «в», рядах «17» - «18» и «19» «20» котельного отделения главного корпуса в пределах ячейки котла. Установка ДРГ не вносит изменений в конструкцию котла и его строительных конструкций. Места установки выбраны исходя из наличия свободного места в котельной ячейке котла, максимально коротких всасывающих и напорных газопроводов рециркуляции газов, удобства обслуживания оборудования.

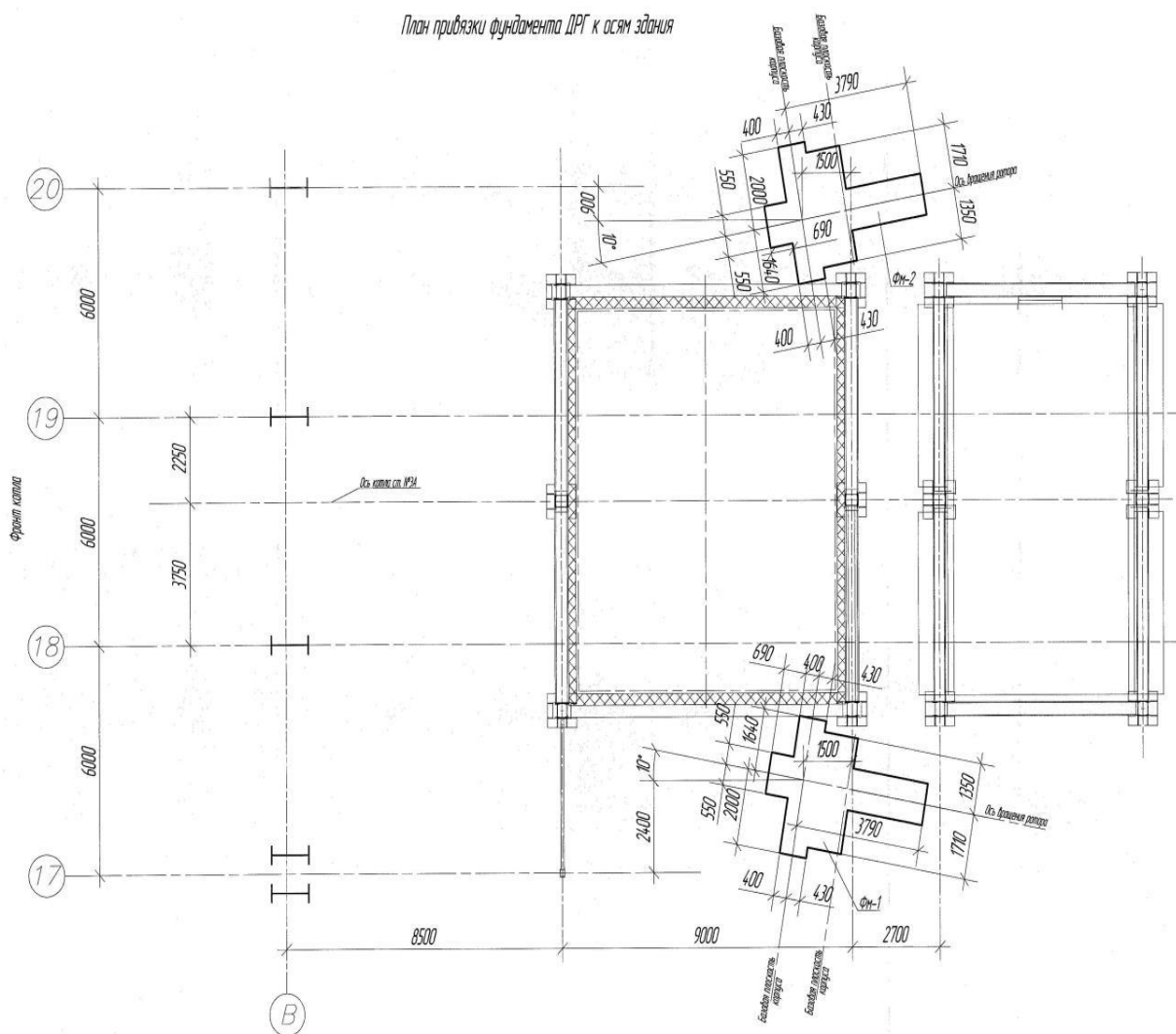


Рисунок 3 - Расположение фундаментов ДРГ

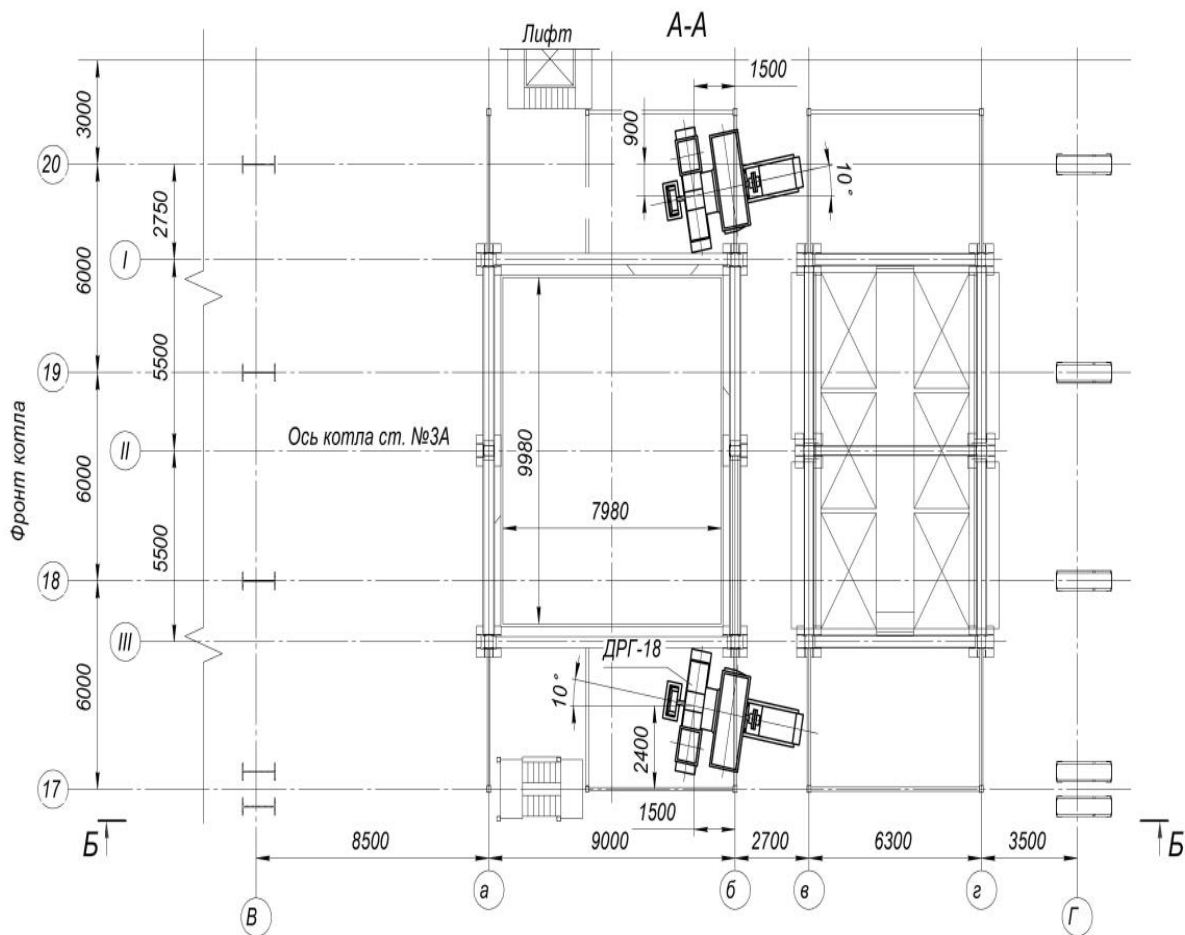


Рисунок 4 - Установка новых дымососов рециркуляции газов ДРГ-18 котла ПК-38

5.2 Установка новых инерционных сепараторов

Новые инерционные сепараторы «Тяжмаш» в количестве 4 шт. устанавливаются на существующие мельницы вместо существующих сепараторов конструкции ООО «Политехэнерго» без изменения конструкции мельницы (рисунок 5). Нагрузки от сепараторов передаются на строительные конструкции на отм. 9,000. Корпус мельницы остается не нагруженным, масса нового малогабаритного инерционного сепаратора не превышает массы сепаратора в проектном исполнении.

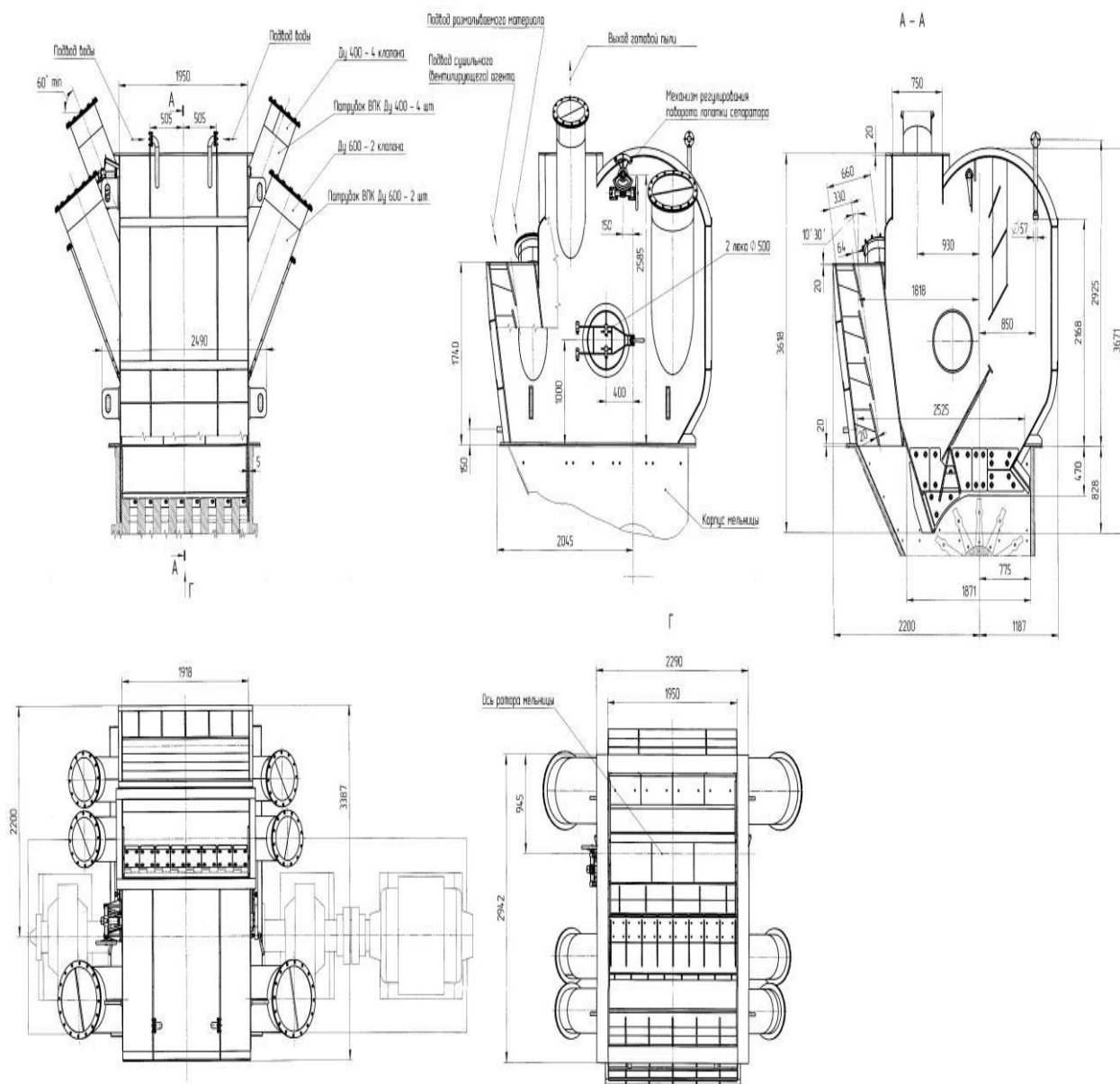


Рисунок 5 - Установка новых инерционных сепараторов на мельницы ММТ-1500/1910 котла ПК-38

5.3 Установка направляющих патрубков (пламегасителей) для безопасного отвода возможных выхлопов от предохранительных клапанов сепараторов мельниц

Направляющие патрубки устанавливаются на взрывные клапана сепараторов мельниц (рисунок 6) для исключения распространения взрывной волны при возможных выхлопах в места потенциального нахождения персонала на площадках обслуживания.

Устье патрубков (пламегасителей) располагается на отм.+7,800 на безопасном расстоянии от оперативной отметки +9,000. Такое расположение патрубка исключает распространение взрывной волны на площадки обслуживания отм.+3,020, +9,000.

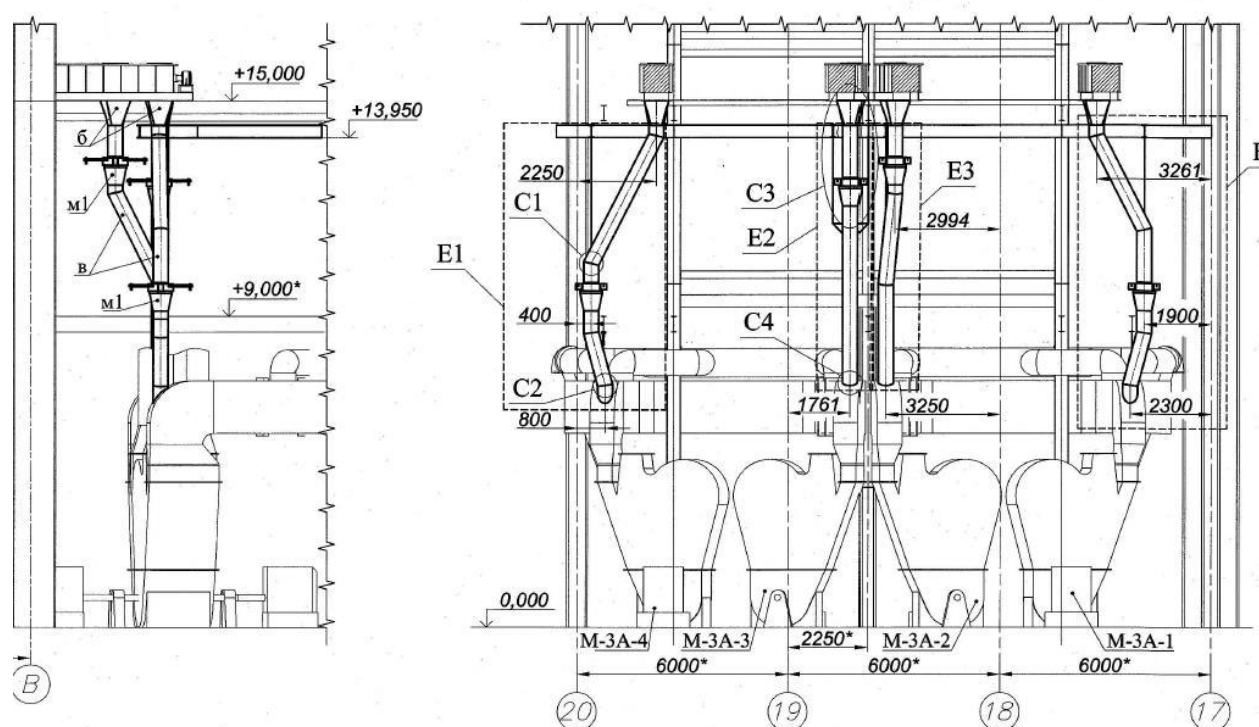


Рисунок 6 - Течки сырого угля

Течки и запорный клапан выполнены с условным диаметром Ду426. Установка затворного клапана реализуется для исключения перетечек воздуха из зоны с повышенным давлением (мельница-сепаратор) в зону пониженного давления (питатель угля) при транспортировании топлива. Мигалка состоит из корпуса, входного и выходного патрубков, конусного клапана рычажной системы и противовеса. Для уплотнения тракта с целью предупреждения присосов над клапаном предусматривается обязательное наличие столба топлива, величина которого рассчитывается исходя из разности давлений. Для обеспечения нормальной работы мигалки должны устанавливаться на вертикальном участке трубопровода. Расчётная величина угля уравнивается грузом, который может перемещаться и закрепляться по всей длине рычага.

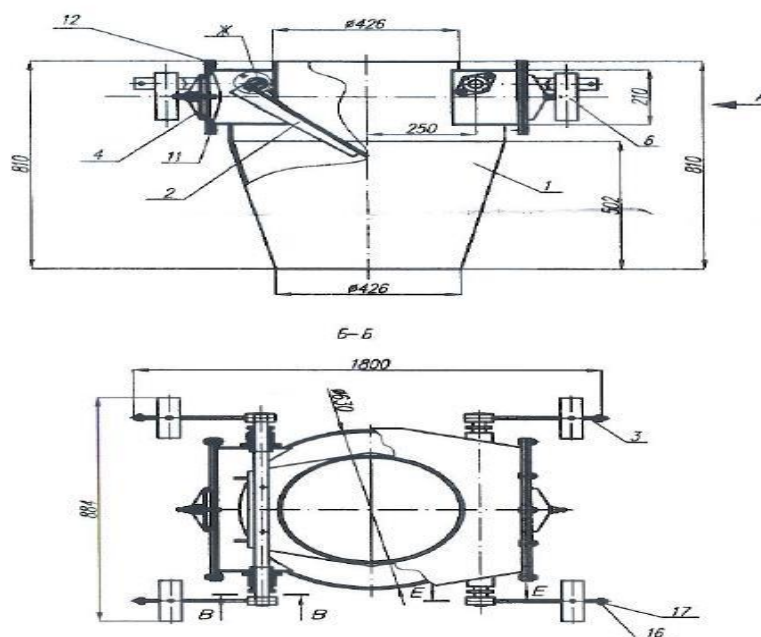


Рисунок 7 - Затвор клапанный – мигалка

5.4 Замена трубопроводов подвода воздуха на уплотнение валов мельниц

Трубопровод уплотняющего воздуха трассируется в соответствии с расположением существующего и нового оборудования и металлоконструкций, преимущественно по прежней трассе. Трубопровод выполняется большим диаметром, чем существующий. Отбор воздуха осуществляется из напорного воздуховода перед первой по ходу воздуха ступенью ТВП, далее трассируется к мельнице на высоте +4,400. Окольцовка мельниц трубопроводом осуществляется на отм.+2,500.

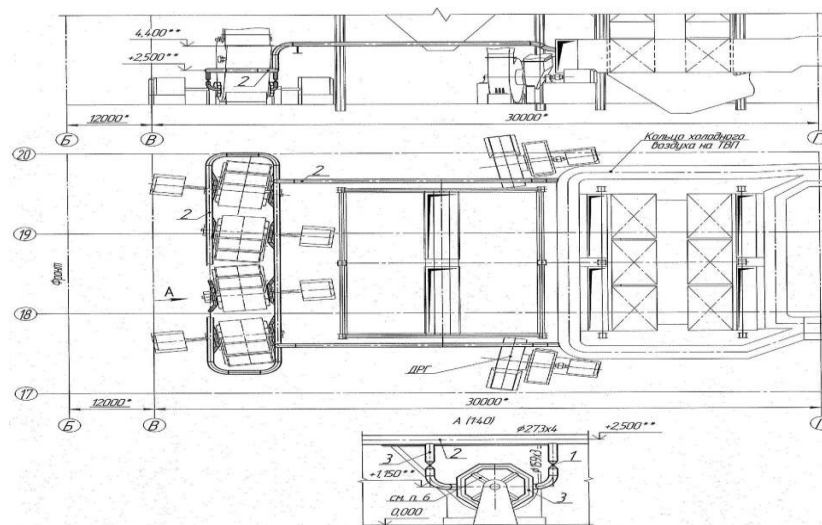


Рисунок 8 - Трубопроводов подвода воздуха на уплотнение валов мельниц

5.5 Установка трубопроводов пароводотушения мельниц

Трубопроводы паротушения мельниц прокладываются вдоль ряда «В» от оси «20» до оси «17». Трассировка выполняется по месту в соответствии с рисунком 9. Трубопровод слива конденсата прокладывается с уклоном вдоль оси «20» в рядах «В» - «Г» со сливом в каналы ГЗУ по месту. Трубопроводы водотушения мельниц прокладываются на отм. +10,600 до отм. +5,325 от ряда «В» в сторону ряда «Г» в осях «17» - «20». Трассировка выполняется по месту в соответствии с рисунком 10.

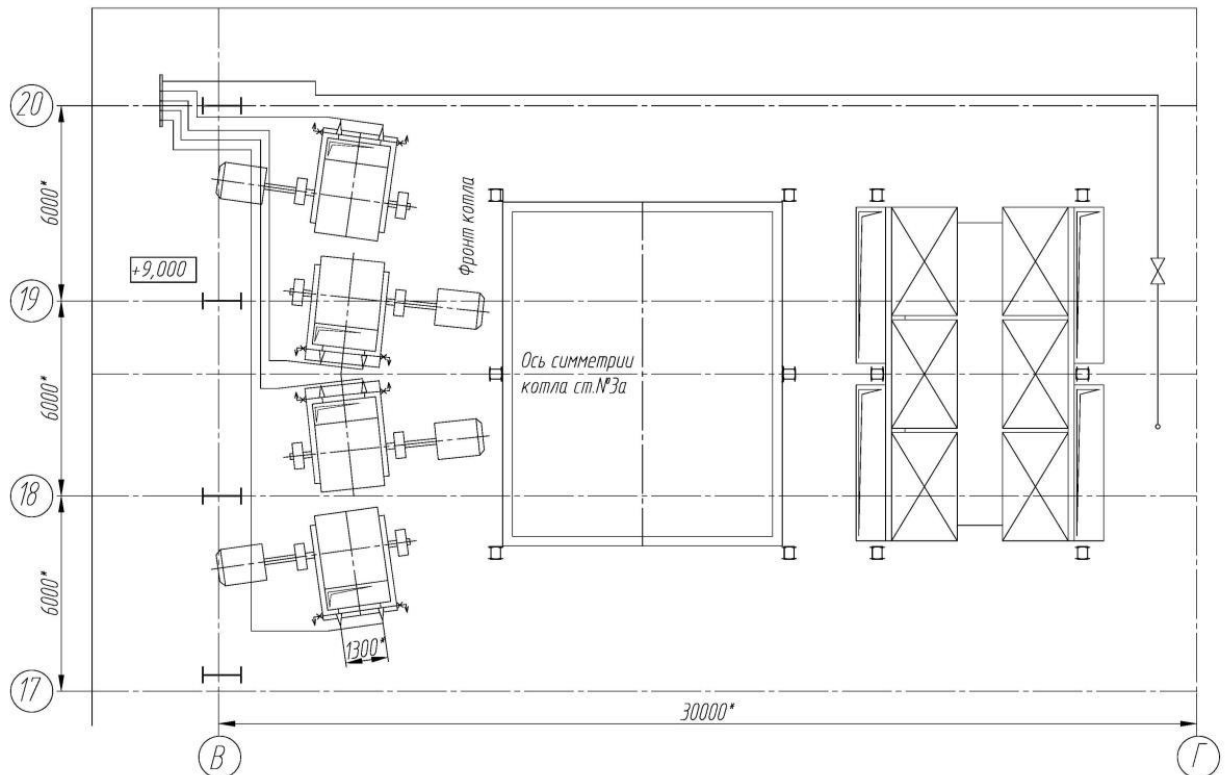


Рисунок 9 - Трубопроводы паротушения мельниц

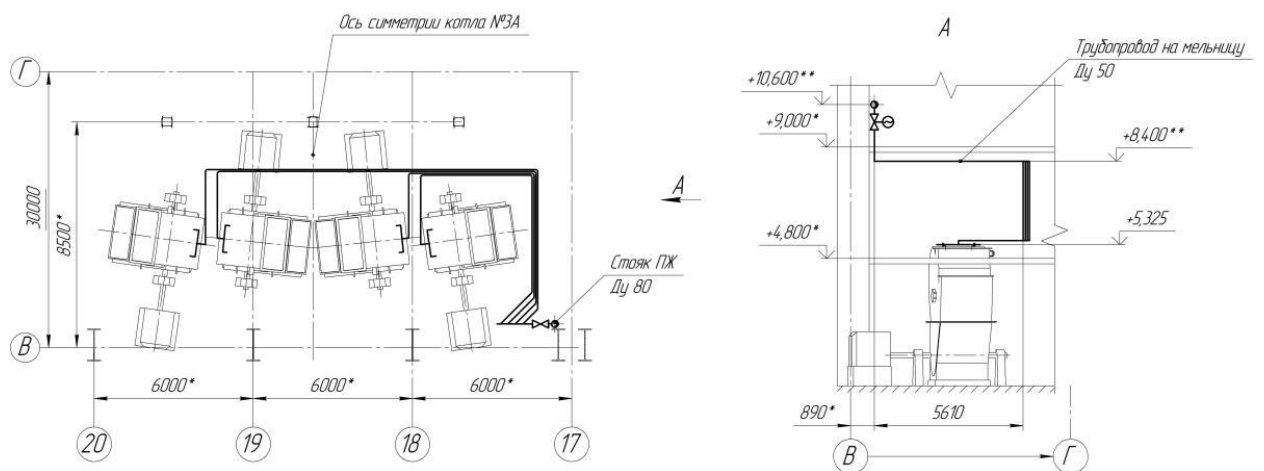


Рисунок 10 - Трубопроводы водотушения мельниц

5.6 Установка новых пылеугольных горелок, сопел нижнего и пристенного дутья

В объеме технического перевооружения устанавливаются новые прямоточно-вихревые горелки, а также сопла нижнего и пристенного дутья.

Горелки устанавливаются в два яруса, они располагаются на боковых стенах топочной камеры по встречной схеме (рисунок 11). На боковых стенах топочной камеры также устанавливаются сопла пристенного дутья. Для лучшего использования поверхностей нагрева холодной воронки установлена система нижнего дутья.

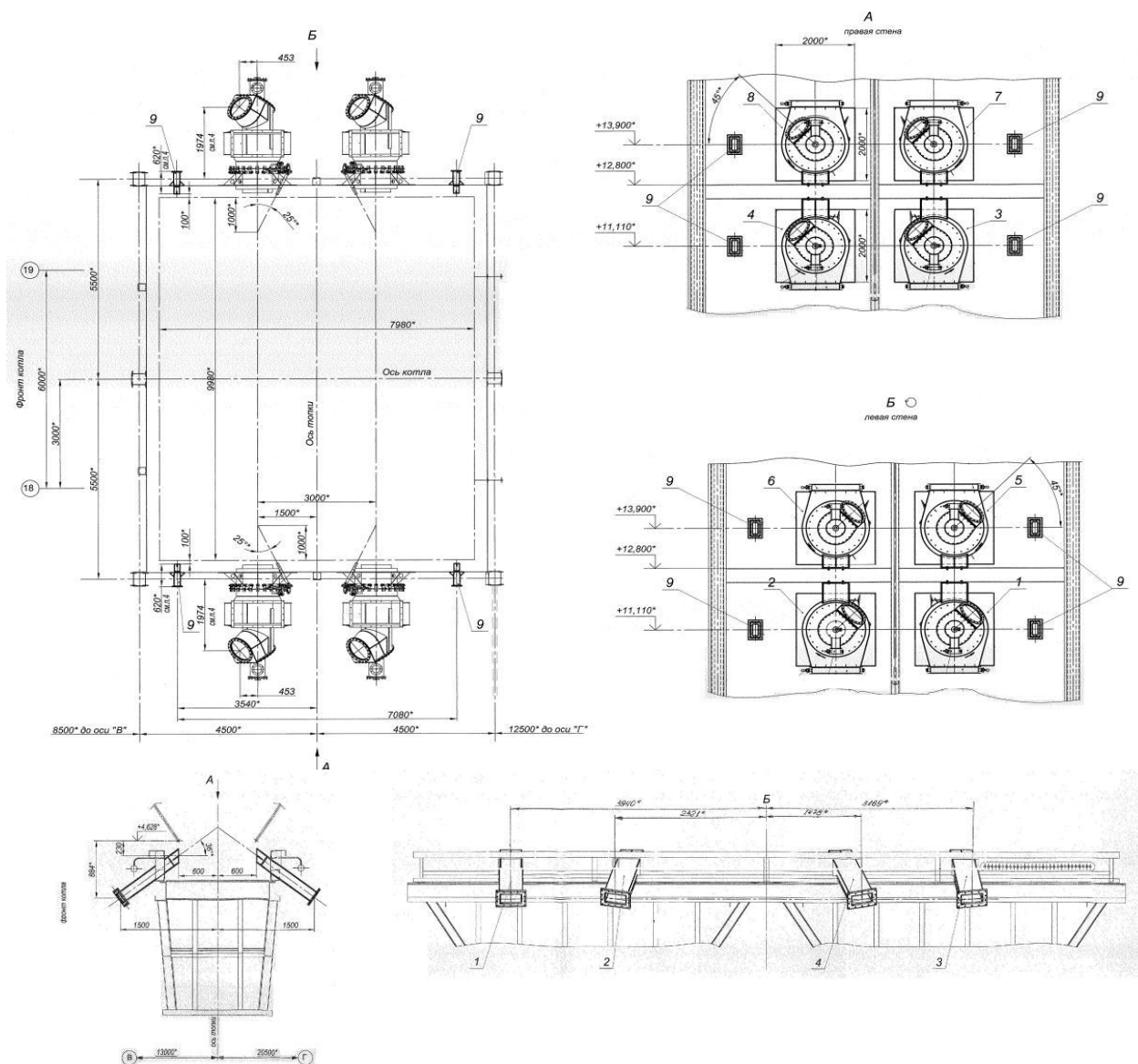


Рисунок 11 - Установка горелок, сопел пристенного и нижнего дутья

5.7 Техническое перевооружение газопроводов сушильного агента

Для повышения надежности работы пылесистем предусмотрена переключка между трактами подачи сушильного агента, что позволит при необходимости (например, при выводе в ремонт одного из ДРГ) подавать сушильный агент на любую из мельниц. Таким образом, все мельницы и ДРГ могут работать в любом сочетании. Компоновка газопроводов представлена на рисунок 12.

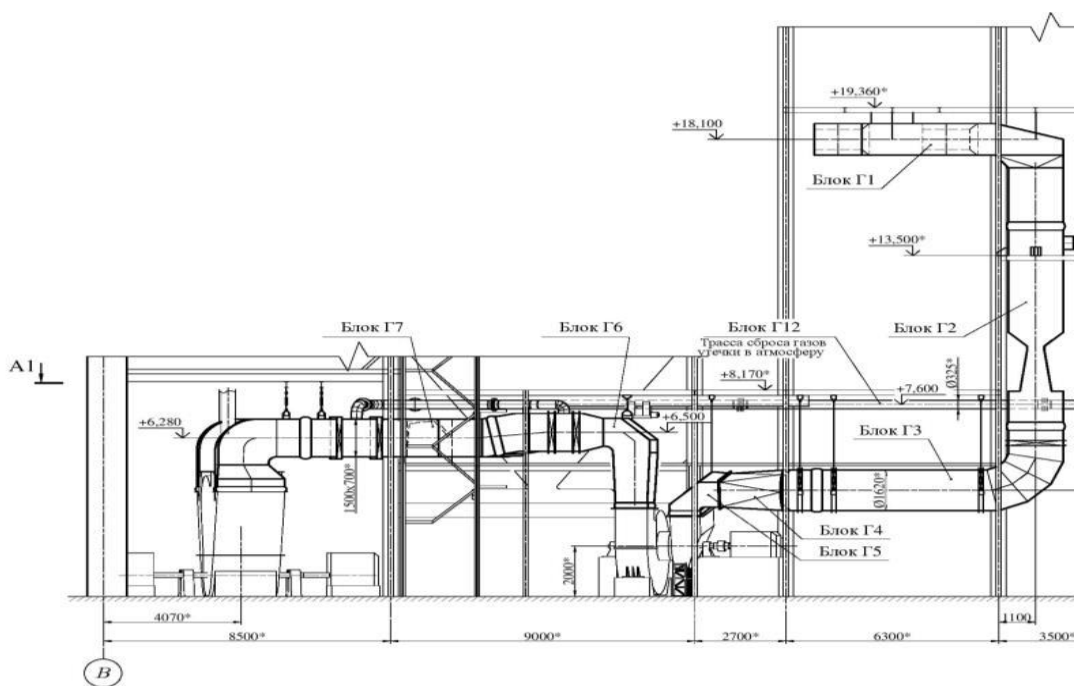


Рисунок 12 - Компоновка газопроводов сушильного агента

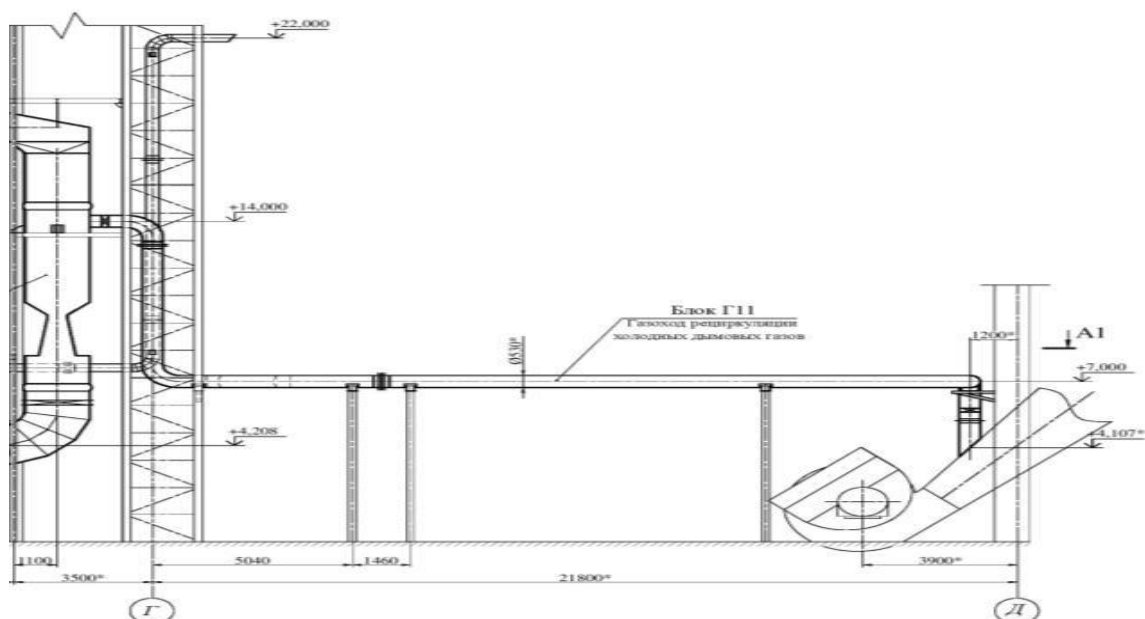


Рисунок 13 - Трассировка регулирующего температуру сушильного агента перед ДР

Уходящие газы забираются с напора дымососа и подаются на всас ДРГ. Компоновка пылепроводов подачи пылегазовой смеси к горелкам котла представлена на рисунок 14.

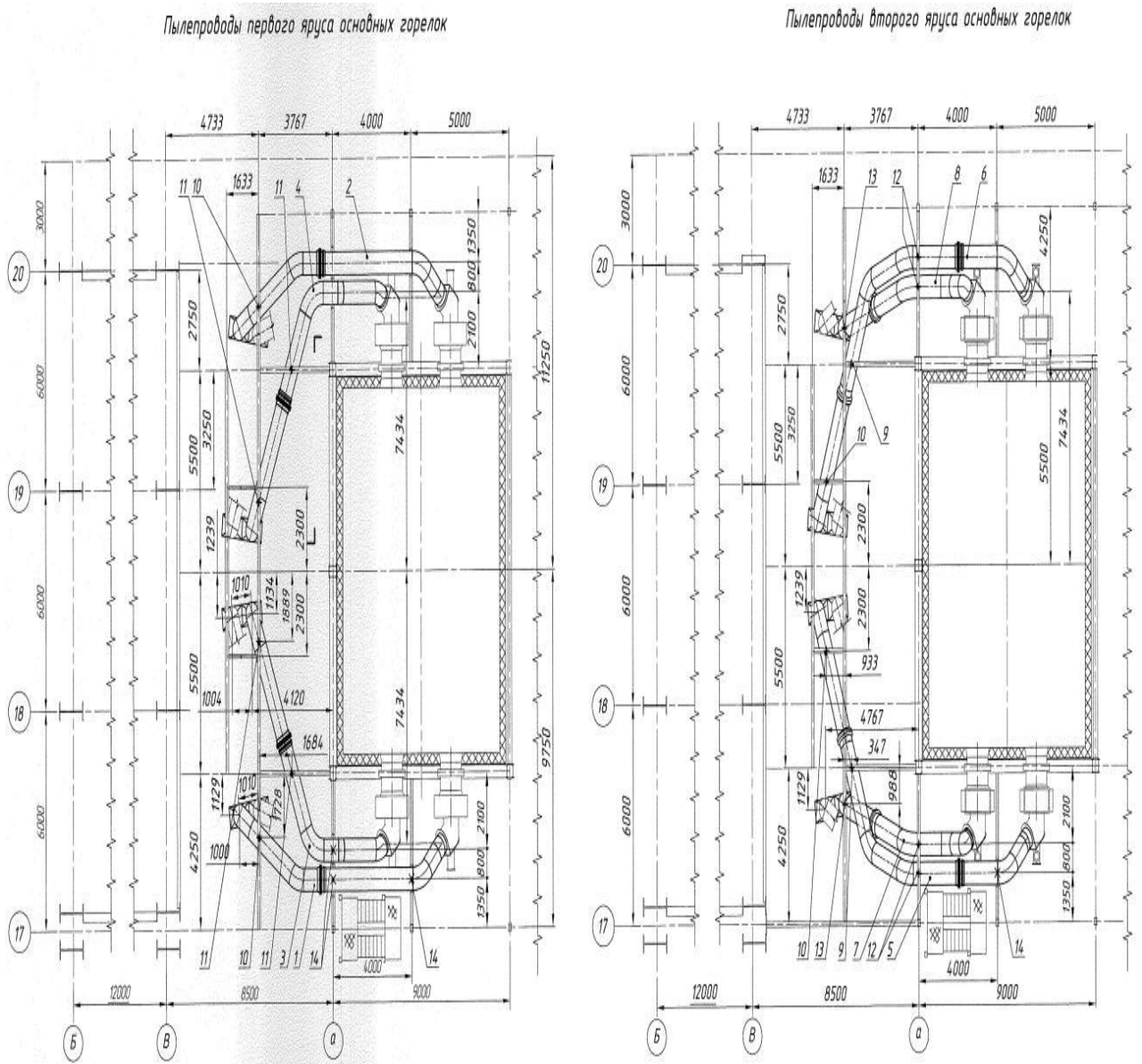
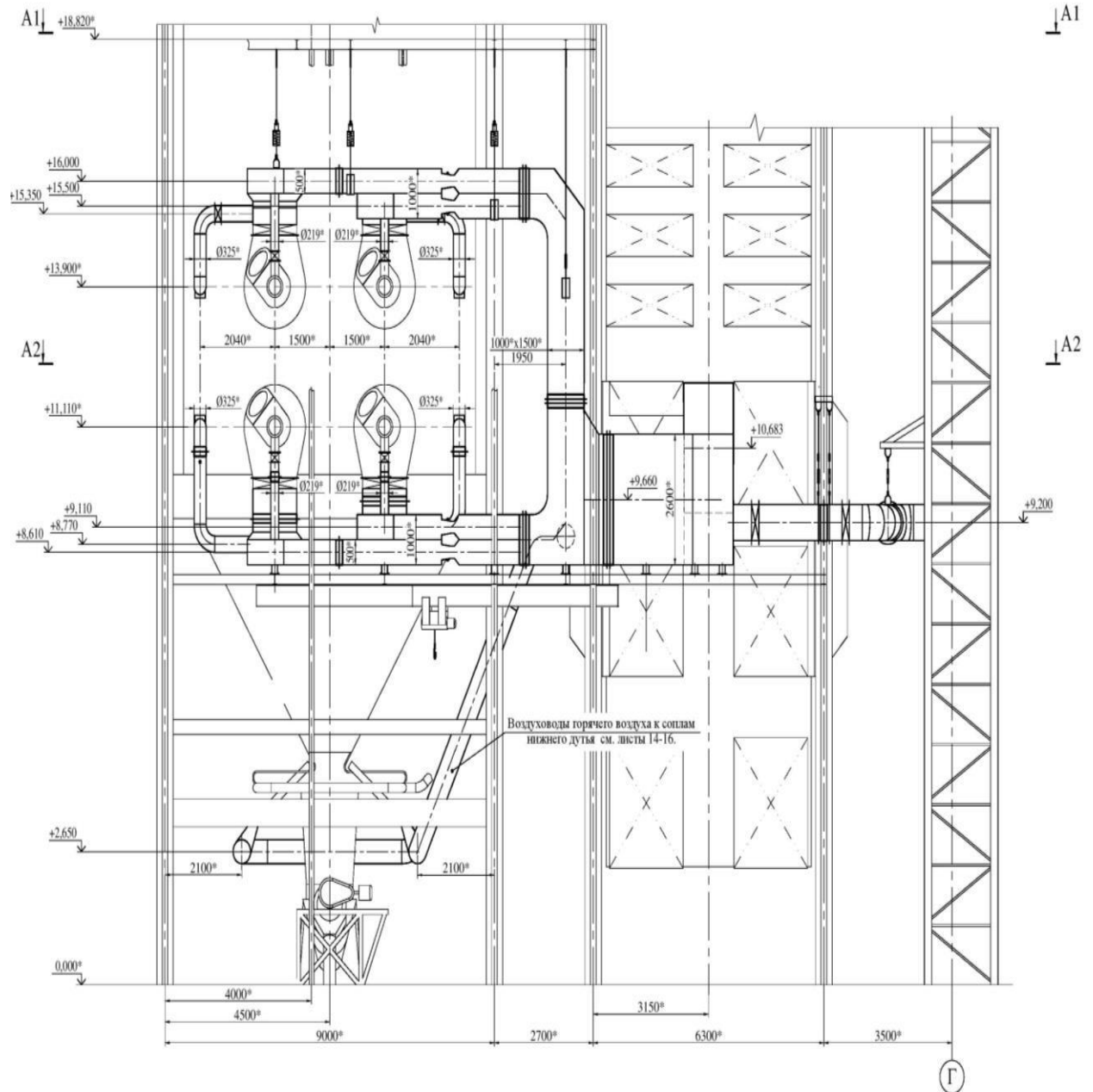


Рисунок 14 - Компоновка пылепроводов

Запитка горелок произведена по перекрёстной схеме, каждая мельница работает на 2 горелки с одной стороны топки. Компоновка новых воздухопроводов от верхней ступени воздухоподогревателя к горелкам и соплам котла представлена на рисунке 15. Воздуховоды располагаются в пределах ячейки котла, опираются и подвешиваются на существующие и дополнительные новые металлоконструкции. Общая масса новых воздухопроводов не превышает массу существующих воздухопроводов.



5.8 Замена бункера шлакоудаления

С учетом перехода на традиционное факельное сжигание техническому перевооружению подвергается бункера шлакоудаления (рисунок 16).

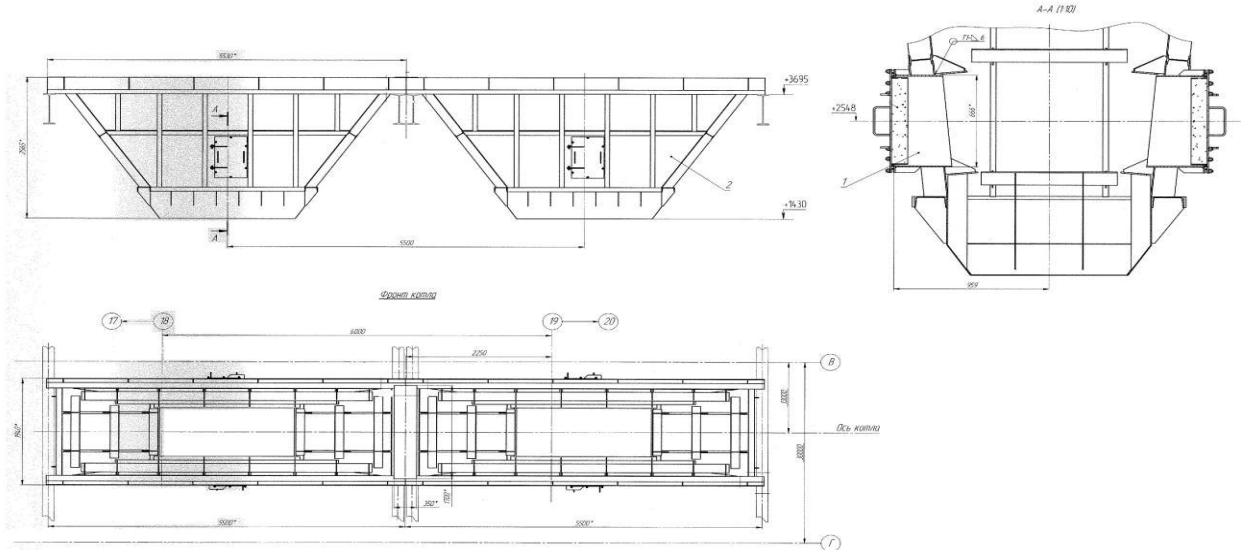


Рисунок 16 - Бункер шлакоудаления

5.9 Замена электродвигателей дымососов

Проектом предполагается замена существующих электродвигателей дымососов на новые большей мощности. Электродвигатели устанавливаются на существующие фундаменты на отм. +1,155 (рисунок 17). Для установки новых анкеров оформляются новые колодцы, для связки фундаментов дополнительно укладывается арматура.

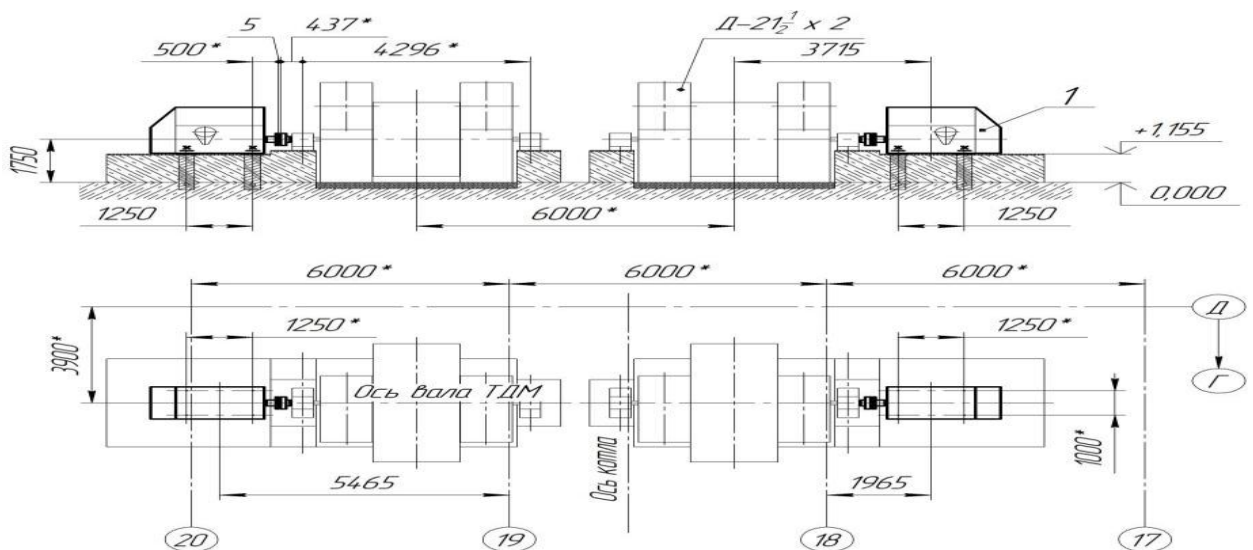


Рисунок 17 - Замена электродвигателей дымососов

5.10 Техническое перевооружение поверхностей нагрева

Увеличение поверхности ширмового пароперегревателя выполнено за счет установки нового пакета топочных ширм перед ширмовым пароперегревателем по ходу пара. Пакет топочных ширм (рисунок 18) располагается в верхней части топки с отм. +25,320 до отм. +33,245 и не нарушает конструкцию котла в целом. Всего в пакете размещается 10 ширм с шагом 918 мм. Материал ширм труба 32×5 12Х1МФ. Для прохода труб ширм через потолочный пароперегреватель в последнем выполняются разводки труб и устанавливаются уплотнительные коробки. Опираение пакета ширм выполняется на бакли потолочного перекрытия на отм. +34,360.

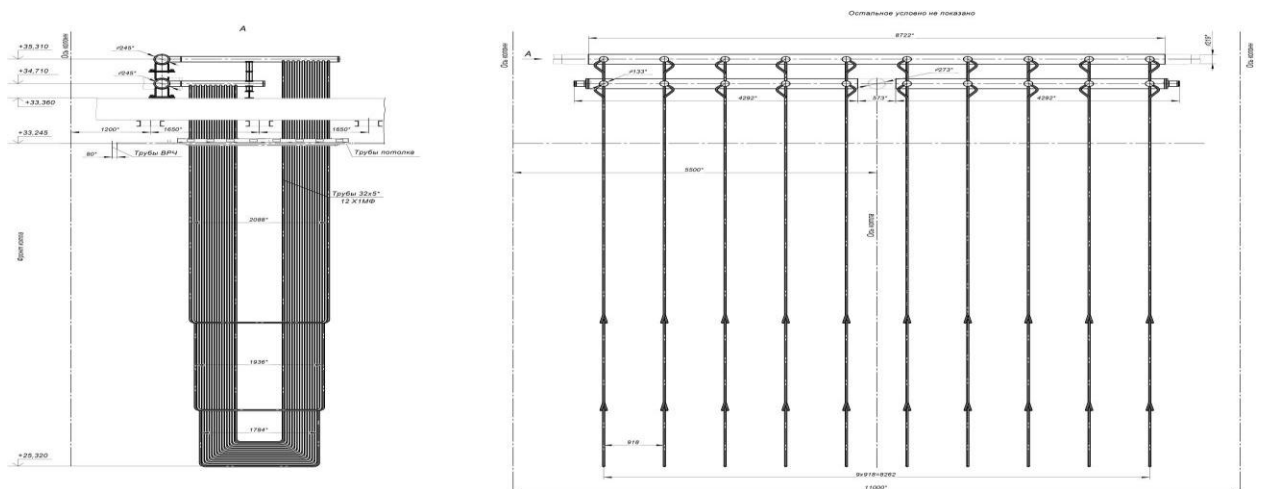


Рисунок 18 - Установка пакета топочных ширм

Установка новой НРЧ с разводками труб под новые горелки, сопла, аппараты водяной обдувки, лючки и лазы представлена на рисунке 19. Новые поверхности НРЧ устанавливаются по такой же схеме, что и прежние.

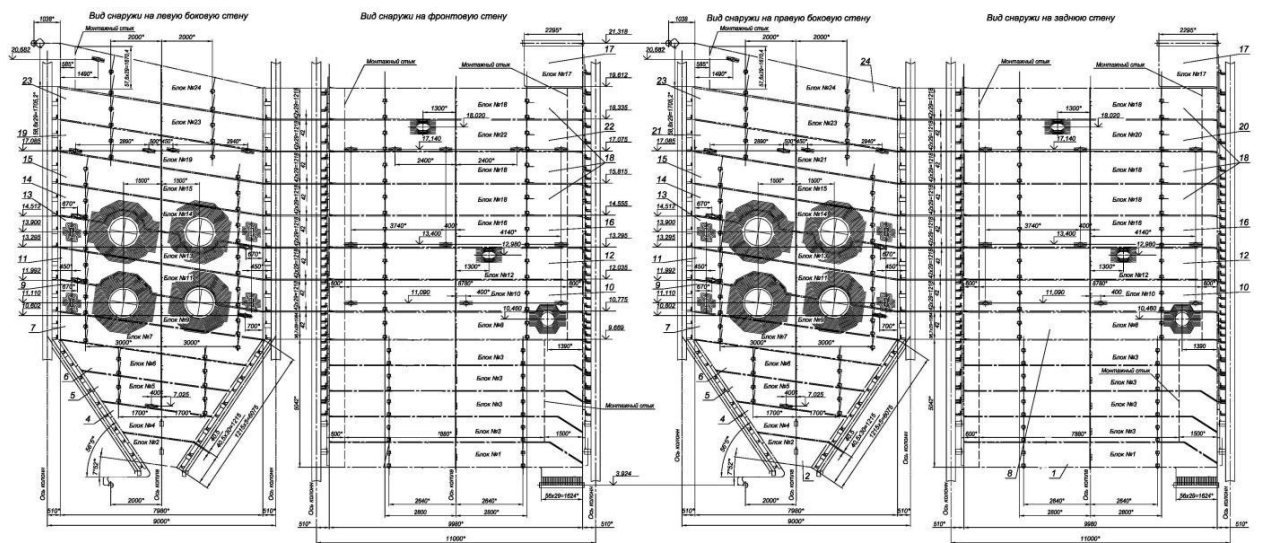


Рисунок 19 - Монтажный чертеж панелей НРЧ

5.11 Замена паромазутопроводов и их арматуры к горелкам котла

Раскладка паромазутопроводов и установка арматуры производится на отметке установки горелок первого яруса (+9,800) в соответствии со схемой, представленной на рисунке 20. Трассировка паромазутопроводов должна обеспечивать доступ к арматуре с существующих и новых площадок обслуживания, удобство осмотра и ревизии, возможность дренирования мазута и конденсата.

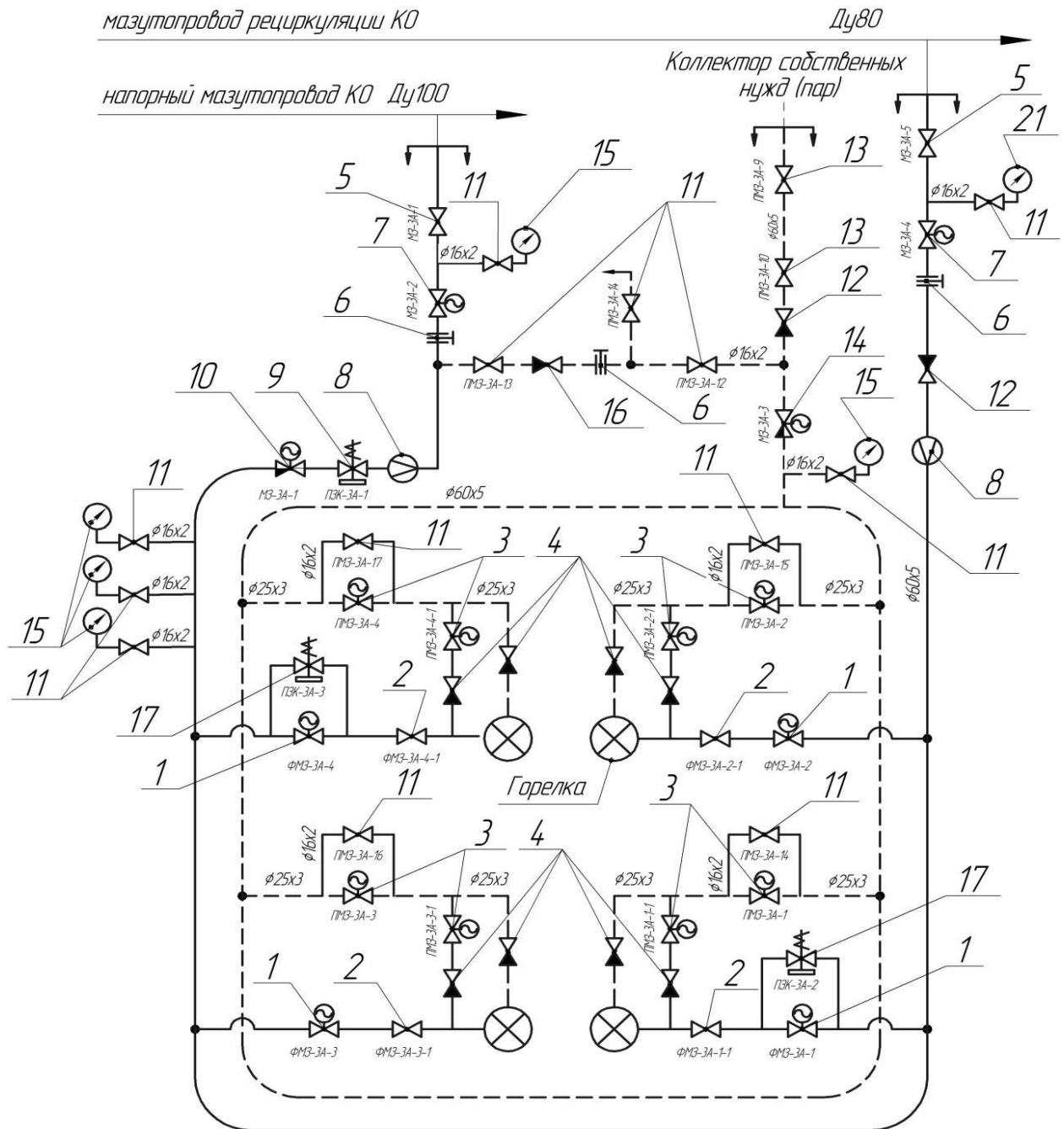


Рисунок 20 - Схема паромазутопроводов

5.12 Установки аппаратов паровой обдувки ширм и водяной обдувки НРЧ

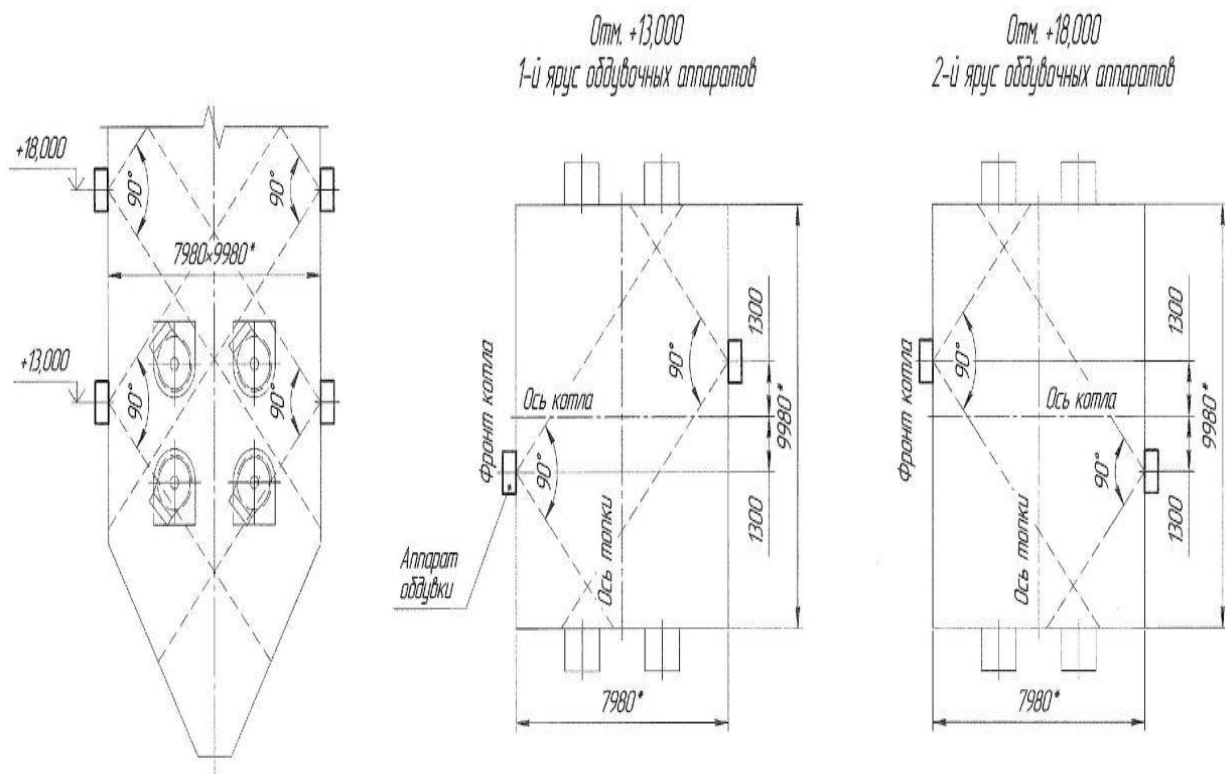


Рисунок 21 - Установки аппаратов водяной обдувки НРЧ

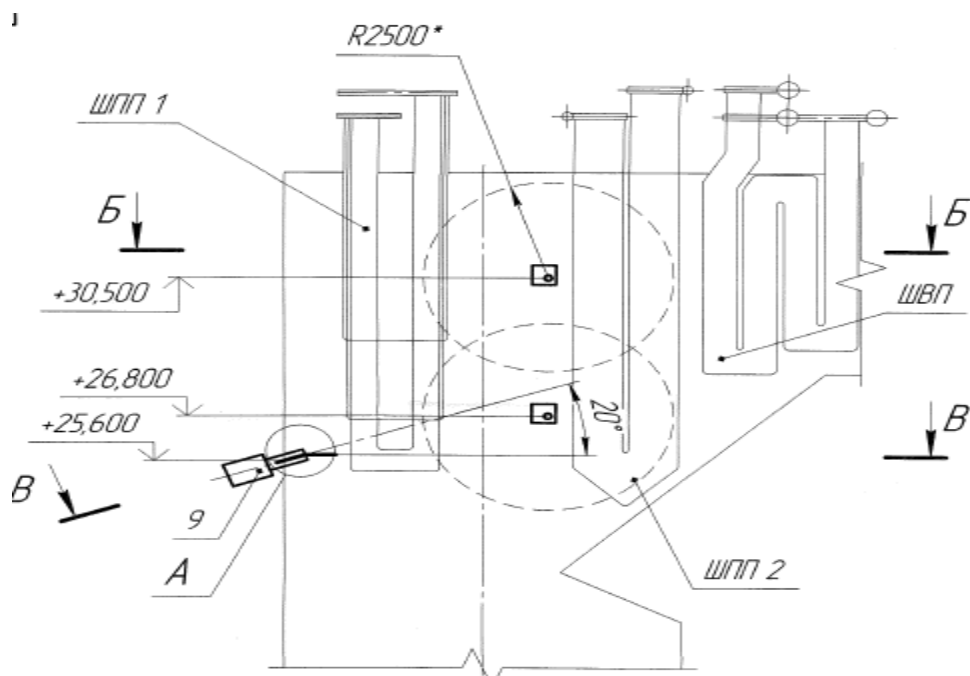


Рисунок 22 - Установки аппаратов паровой обдувки ширм

6 Разработка и обоснование выбора схемы сжигания. Мероприятия по оптимизации работы топочно-горелочного устройства

Топка котла ПК-38 имеет прямоугольное сечение $7\ 380 \times 10\ 120$ мм с соотношением сторон 1:1,37. Тепловые напряжения объема топочной камеры – $q_v=116$ кВт/м³, сечения топки – $q_f=2,93$ МВт/м², яруса горелок – $q_{яр}=1,464$ МВт/м².

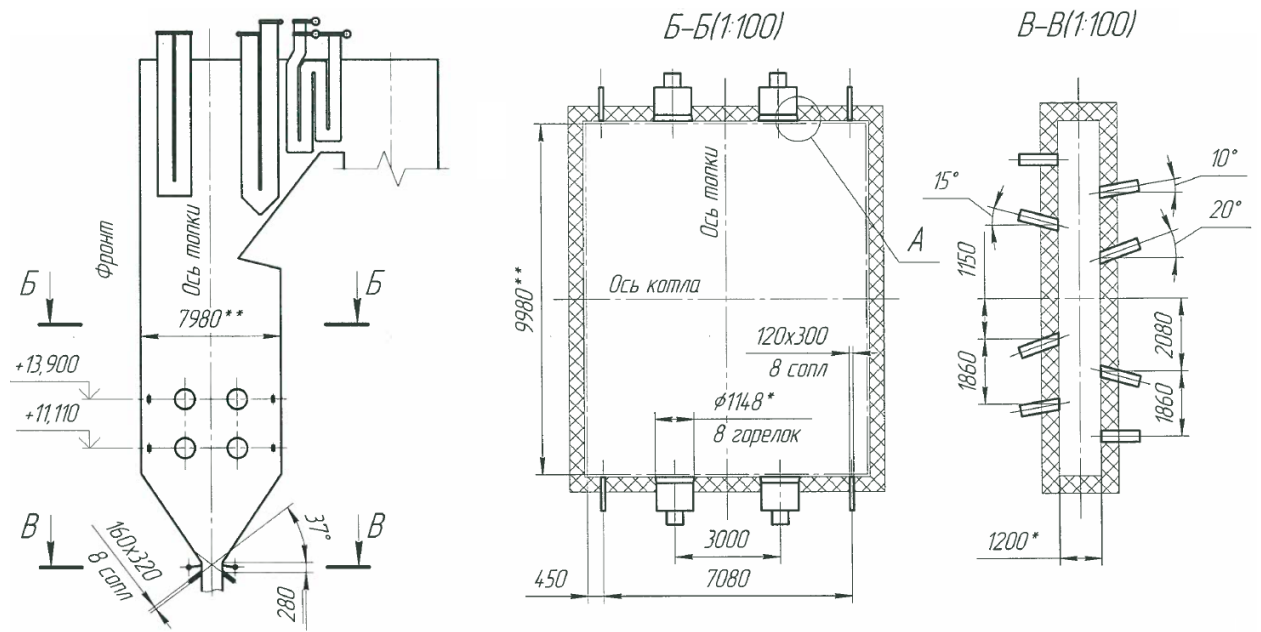
Разработанные технические решения по системе сжигания направлены на концентрацию ядра факела по центру топочной камеры, обеспечение экономичной работы котла ($\eta \geq 90\%$), уменьшение шлакования топочной камеры и повышение устойчивости горения на сниженных нагрузках и заключаются в следующем:

Установка 8 основных вихревых пылеугольных горелок в 2 яруса (отм.+11,11м и +13,90м) на боковых стенах топочной камеры по встречной схеме.

Организация горизонтальной стадийности сжигания угольной пыли за счет подачи части воздуха (в объеме 10% от теоретически необходимого) в 8 сопл пристенного дутья, расположенных на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, для защиты экранов топки от наброса факела и исключения восстановительной зоны возле фронтальной и тыловой стен топки в области активного горения;

Организация вертикальной стадийности сжигания за счёт установки 8 сопл нижнего дутья (по 4 с каждой стороны по перчаточной схеме) снизу холодной воронки. Это позволит обеспечить более эффективное использование поверхностей нагрева холодной воронки, защитить скаты от шлакования и уменьшить (или исключить) механический недожог топлива в провале.

Запитка горелок по перекрёстной схеме, каждая мельница работает на 2 горелки с одной стороны топки (рисунок 24). Это позволяет минимизировать влияние отключения мельниц на сниженных нагрузках на аэродинамику факела и поля температур по сечению топки и на выходе из нее.



1. *Размеры для справок.
2. ** Размеры топки по осям экранных труб
3. Сопла нижнего дутья располагаются на стенах шлакового коада и разбодок труб не требуют
4. Размеры сопел и амбразур горелок даны в свету

Рисунок 23 - Принципиальная компоновка топочно-горелочных устройств

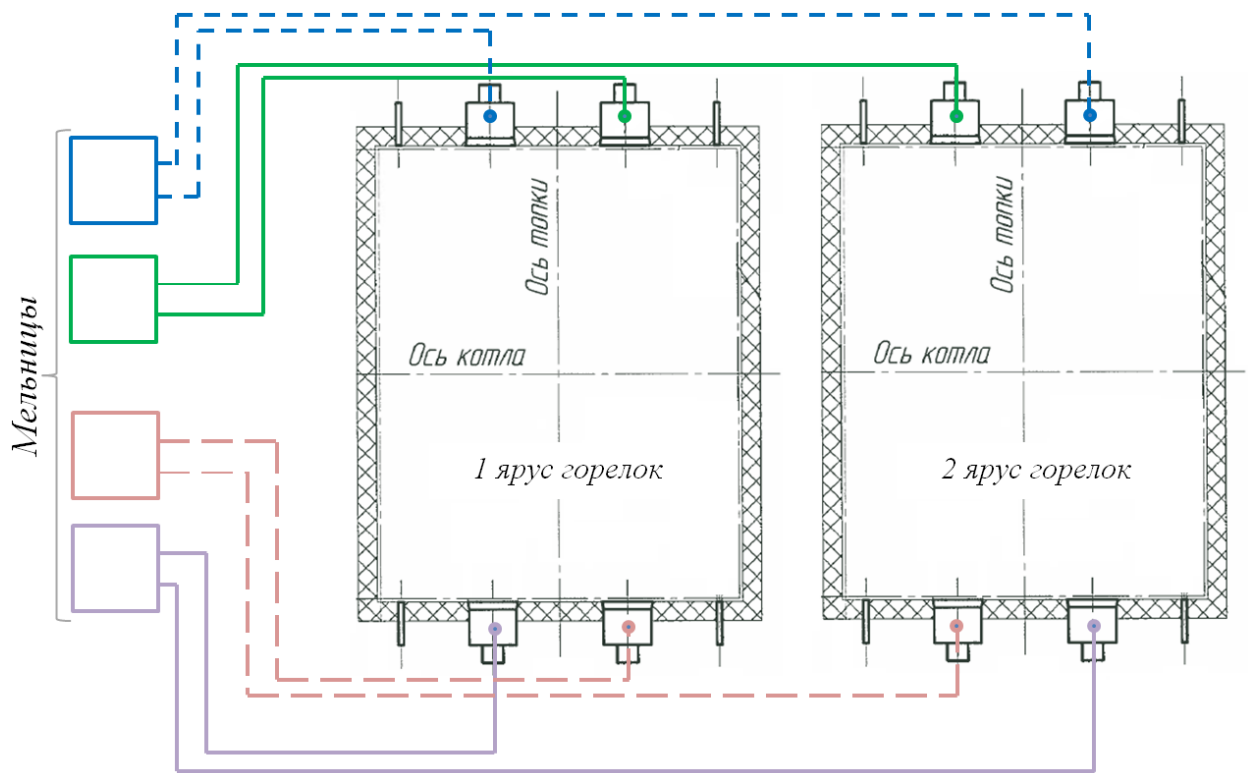


Рисунок 24 - Схема подключения мельниц к горелкам

6.1 Горелочные устройства и сопла

Вихревая горелка (рисунок 25) имеет три концентрических кольцевых канала и один центральный канал круглого сечения. В центральном канале $\text{Ø}159 \times 10$ мм горелки устанавливается труба диаметром $\text{Ø}60$ мм под запальное устройство и мазутная форсунка. Запальное устройство представляет собой плазменный запальник, позволяющий напрямую зажигать распыленный мазут марки М100. Устройство с датчиком контроля факела (ДКФ) устанавливается сверху основной горелки в вертикальной плоскости, проходящей через ось горелки, при этом крепится к опорному листу горелки, не изменяя конструкции кольцевых каналов и выходных конических насадок. Датчик контроля факела ориентируется на ось горелки на расстоянии ~ 1000 мм от оси экранных труб и селективно настраивается на слежение за факелом «своей» горелки.

В первый от центральной трубы кольцевой канал горелки подается часть вторичного воздуха. При растопке котла он обеспечивает начальное воспламенение мазута и рассчитан на подачу 40-50% воздуха, необходимого для горения мазута, остальной воздух подается через основные каналы вторичного воздуха горелки. В выходной части растопочного канала устанавливается осевой завихритель, позволяющий обеспечить лучшее смешивание воздуха с распыленным мазутом и, следовательно, стабильное горение растопочного топлива. При работе на пылегазовоздушной смеси в данный кольцевой канал подается воздух, необходимый для охлаждения.

Кольцевой канал аэросмеси (пылегазовоздушной смеси) предусматривает наличие в нём нерегулируемого аксиально-лопаточного завихрителя с расчётной величиной крутки $n_1=0,6$. Такой параметр крутки выбран на основе многовариантных расчётов, как оптимальный с точки зрения положения факела и баланса выгорания топлива и подавления оксидов азота.

Трубы, контактирующие с аэросмесью, и все элементы внутри этого канала выполняются толстостенными. Для предотвращения крутки на входе в кольцевой канал, а также для выравнивания эпюры скоростей и концентрации топлива в выходном патрубке устанавливаются специальные элементы. Канал вторичного воздуха оснащён регулируемым завихрителем, позволяющим устанавливать различные углы лопаток и, тем самым, изменять параметр крутки воздушного потока в диапазоне $n_2=1,45 \div 5,4$. Направление крутки горелок представлено на рисунке 26.

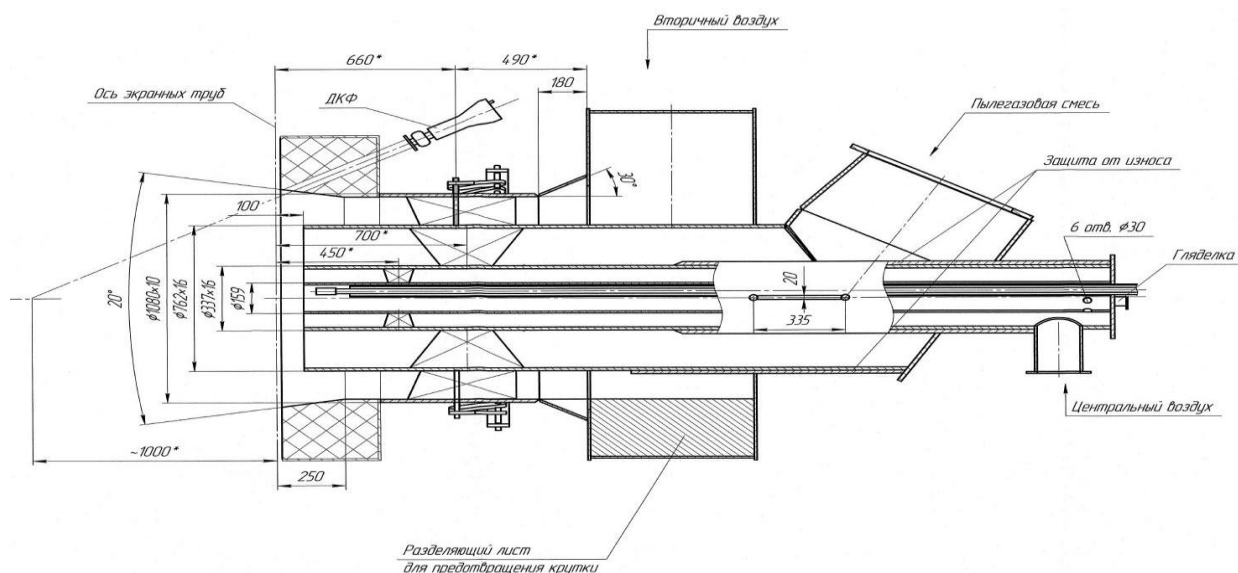


Рисунок 25 - Принципиальная конструкция вихревой горелки

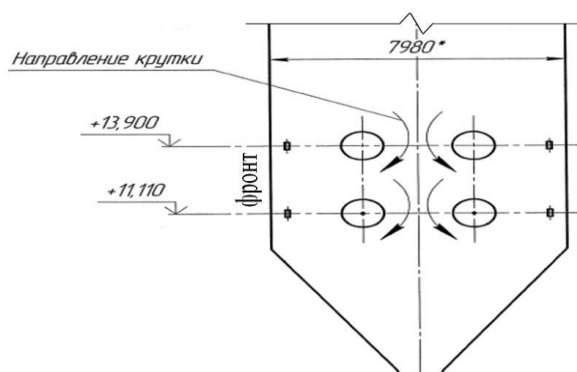


Рисунок 26 - Схема направления крутки горелок

В корне факела за счет наличия крутки потоков, истекающих из кольцевых каналов горелки, образуется зона активной рециркуляции горячих топочных газов – зона «обратных токов». За счет такой направленности аэросмеси в зону высоких температур происходит ее быстрый прогрев, а недостаток кислорода в этой зоне позволяет снизить образование топливных оксидов азота, вносящих большой вклад в величину валовой эмиссии NOx.

Сечения каналов основной горелки выбраны из условий обеспечения выходных скоростей на номинальной нагрузке работы котла:

- аэросмеси $W_1=16$ м/с;
- вторичного воздуха $W_2=26$ м/с.

Сопла пристенного и нижнего дутья имеют прямоугольную форму.

Топливо-воздушные балансы топки для 100%, 70% и 50% нагрузки котла представлены в рисунках 27 - 30.

Расчёт топочно-горелочных устройств на разных нагрузках котла приведён в таблице 10.

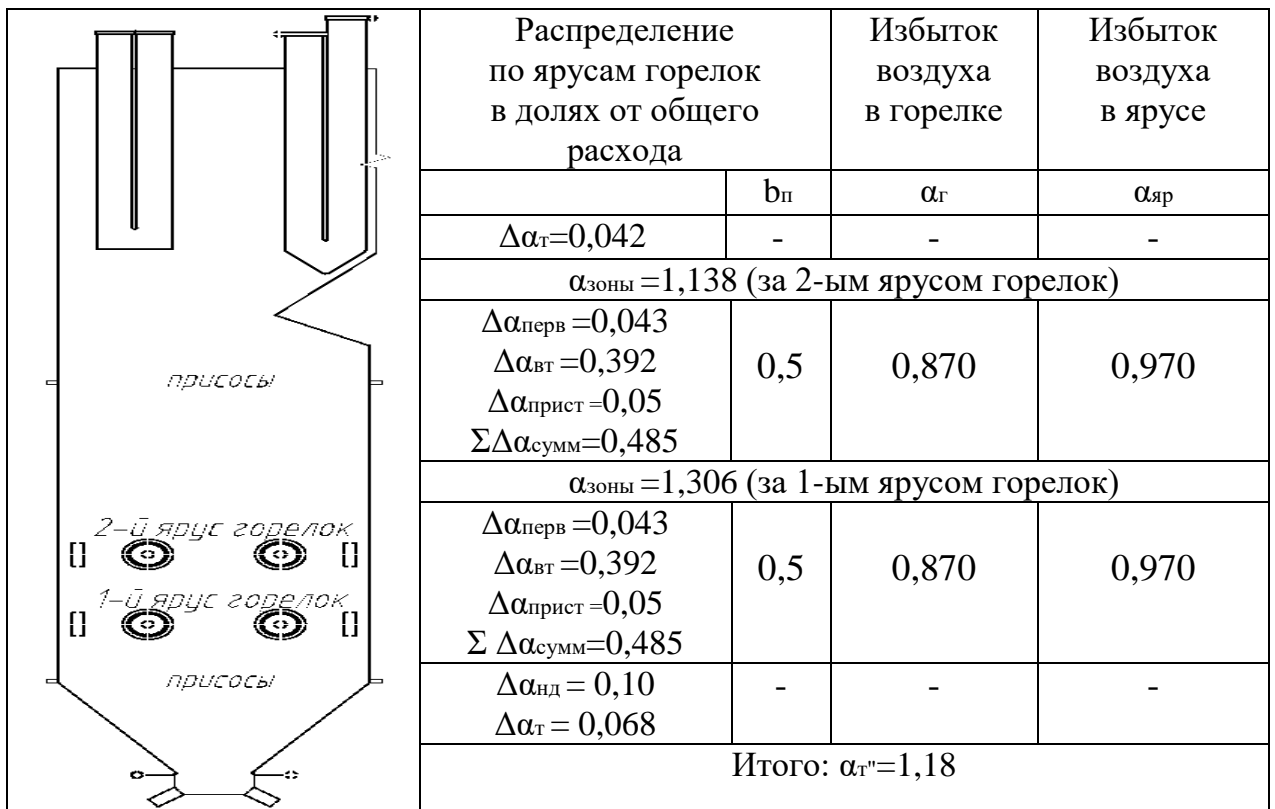


Рисунок 27 - Топливо-воздушный баланс для нагрузки 100%Dном, 4-х мельничный режим

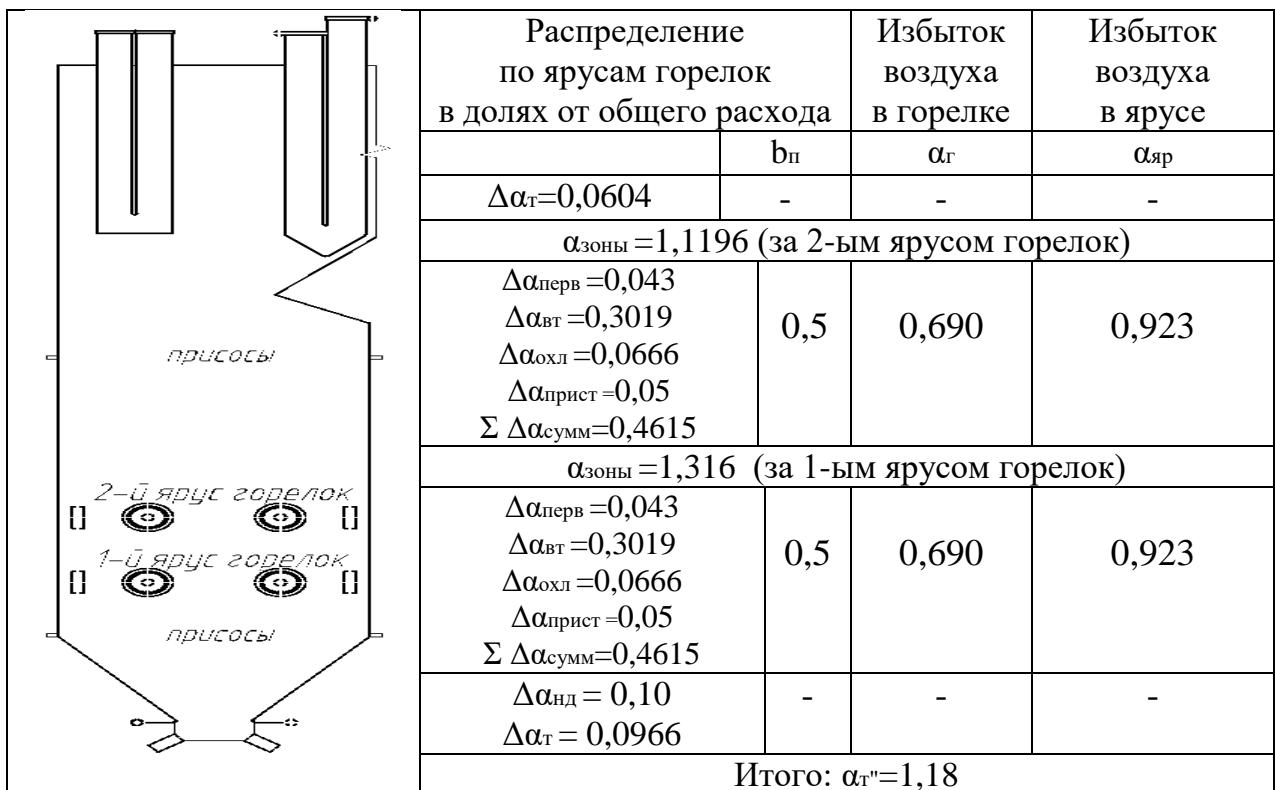


Рисунок 28 - Топливо-воздушный баланс для нагрузки 70%Dном, 3-х мельничный режим

	Распределение по ярусам горелок в долях от общего расхода		Избыток воздуха в горелке	Избыток воздуха в ярусе
		$b_{п}$	$\alpha_{г}$	$\alpha_{яр}$
	$\Delta\alpha_{т}=0,0885$	-	-	-
$\alpha_{зоны} = 1,615$ (за 2-ым ярусом горелок)				
	$\Delta\alpha_{перв} = 0,0995$ $\Delta\alpha_{вт} = 0,450$ $\Delta\alpha_{охл} = 0,0905$ $\Delta\alpha_{прист} = 0,05$ $\Sigma \Delta\alpha_{сумм} = 0,690$	0,5	1,1	1,308
$\alpha_{зоны} = 1,850$ (за 1-ым ярусом горелок)				
	$\Delta\alpha_{перв} = 0,0995$ $\Delta\alpha_{вт} = 0,450$ $\Delta\alpha_{охл} = 0,0905$ $\Delta\alpha_{прист} = 0,05$ $\Sigma \Delta\alpha_{сумм} = 0,690$	0,5	1,1	1,308
	$\Delta\alpha_{нд} = 0,10$ $\Delta\alpha_{т} = 0,135$	-	-	-
Итого: $\alpha_{т}'' = 1,7$				

Рисунок 29 - Топливо-воздушный баланс для нагрузки 50%Dном, 3-х мельничный режим

	Распределение по ярусам горелок в долях от общего расхода		Избыток воздуха в горелке	Избыток воздуха в ярусе
		$b_{п}$	$\alpha_{г}$	$\alpha_{яр}$
	$\Delta\alpha_{т}=0,085$	-	-	-
$\alpha_{зоны} = 1,615$ (за 2-ым ярусом горелок)				
	$\Delta\alpha_{перв} = 0,0895$ $\Delta\alpha_{вт} = 0,368$ $\Delta\alpha_{охл} = 0,1825$ $\Delta\alpha_{прист} = 0,05$ $\Sigma \Delta\alpha_{сумм} = 0,690$	0,5	0,915	1,308
$\alpha_{зоны} = 1,306$ (за 1-ым ярусом горелок)				
	$\Delta\alpha_{перв} = 0,0895$ $\Delta\alpha_{вт} = 0,368$ $\Delta\alpha_{охл} = 0,1825$ $\Delta\alpha_{прист} = 0,05$ $\Sigma \Delta\alpha_{сумм} = 0,690$	0,5	1,1	1,308
	$\Delta\alpha_{нд} = 0,10$ $\Delta\alpha_{т} = 0,135$	-	-	-
Итого: $\alpha_{т}'' = 1,7$				

Рисунок 30 - Топливо-воздушный баланс для нагрузки 50%Dном, 2-х мельничный режим

Таблица 10 - Топливо-воздушный баланс топки и расчёт топочно-горелочных устройств

Наименование, размерность	Обозначение	Способ определения, источник, примечание	D _к 100%	D _к 70%	D _к 50%	D _к 50%
1. Исходные данные						
Паропроизводительность котла, т/ч	D _к	Задано	270	189	135	135
. Топливо:		Задано	Назаровский уголь			
Калорийность, ккал/кг	Q _{рн}	Задано	3240	3240	3240	3240
Зольность, %	A _г	Задано	7,3	7,3	7,3	7,3
Влажность, %	W _г	Задано	39,0	39,0	39,0	39,0
Сера, %	S _г	Задано	0,59	0,59	0,59	0,59
Углерод, %	С _г	Задано	38,55	38,55	38,55	38,55
Водород, %	H _г	Задано	2,63	2,63	2,63	2,63
Азот, %	N _г	Задано	0,45	0,45	0,45	0,45
Кислород, %	O _г	Задано	11,48	11,48	11,48	11,48
Теоретическое количество воздуха для горения, нм ³ /кг	V _о	По элементарному составу	3,76	3,76	3,76	3,76
Расход топлива на котёл: полный, кг/ч расчетный, кг/ч	V _к V _р	Тепловой расчет	61636 61328	43779 43560	32920 32673	32812 32566
Потери тепла с мех. недожогом, %	q ₄		0,5	0,5	0,75	0,75
Количество мельниц на корпус котла, шт.	m _м	Задано	4	4	4	4
Количество работающих мельниц, шт.	m _{рм}		4	3	3	2
Расход топлива на одну мельницу, кг/ч	V _м		15409	14593	10973	16406
Температура горячего воздуха, °С	t _{гв}	Тепловой расчет	241	224	215	213
Температура горячего воздуха перед горелками, °С	t ₂		231	214	205	203
Система пылеприготовления	Прямого вдувания с молотковыми мельницами с инерционным сепаратором, одна мельница работает на 2 горелки.					
Температура аэросмеси, °С	t ₁	Расчет пылесистемы	84	86	104	87
Расход аэросмеси на одну мельницу, °С, тыс. м ³ /ч	V _{аэр.}	Расчет пылесистемы	40,0	39,0	36,0	43,0
Доля первичного воздуха на поданное топливо.	α _{1п}		0,0856	0,856	0,1975	0,1777

Таблица 11 - Топливо-воздушный баланс топки и расчёт топочно-горелочных устройств.

Наименование, размерность	Обозначение	Способ определения, источник, примечание	Dк100%	Dк70%	Dк50%	Dк50%
Доля первичного воздуха на расчетное топливо.	α_1	Расчет пылесистемы	0,0860	0,0860	0,1990	0,1790
Присос воздуха в топку	Δa_T	Задано	0,11	0,157	0,22	0,22
Избыток воздуха на выходе из топки	α''_T	Принято	1,18	1,18	1,7	1,7
Доля воздуха на нижнее дутьё дутье	$\Delta a_{нд}$	Принято	0,10	0,10	0,10	0,10
Доля воздуха на пристенное дутье	$\Delta a_{прис}$	Принято	0,10	0,10	0,10	0,10
Доля втор. воздуха на охлаждение растопочного канала основных горелок	$\Delta a_{охл}$		0,0180	0,0262	0,0356	0,0359
Скорость воздуха, охлаждающего растопочные каналы / неработающие горелки, м/с	$W_{охл}$	Принято	5/-	5/12	5/12	5/12
Доля воздуха на охлаждение неработающих горелок	$\Delta a_{охл}$		-	0,1268	0,1722	0,3469
Доля вторичного воздуха	α_2		0,766	0,584	0,873	0,718

Таблица 12 - Топливо-воздушный баланс топки и расчёт топочно-горелочных устройств.

Наименование, размерность	Обозначение	Способ определения, источник, примечание	Dк100%	Dк70%	Dк50%	Dк50%
Количество основных вихревых горелок, шт	пг		8	8	8	8
Количество работающих основных горелок, шт	прг		8	6	6	4
Количество горелок, присоединенных к одной мельнице, шт	пгм	Принято	2	2	2	2
Расход топлива через основную горелку (на расчетное топливо), кг/с	$V_{гор.}$		2,129	2,017	1,513	2,262
Расход аэросмеси через основную горелку, м3/с	$V_{1г}$		5,556	5,417	5,000	5,972
Расход вторичного воздуха на одну горелку, м3/с ,нм3/с	$V_{2г}$		11,327 6,136	7,903 4,430	8,699 4,968	10,652 6,109
Количество первичного воздуха в одной горелке, нм3/с	V_1		0,692	0,642	1,258	1,514
Доля кислорода в аэросмеси	ΔO_2		0,034	0,033	0,073	0,070
Избыток воздуха в горелке на расчётное топливо	α_g		0,8704	0,6884	1,1210	0,9141
Наружный диаметр трубы под мазутную форсунку, м	d_0	Принято	0,159	0,159	0,159	0,159

Таблица 13 - Расчет основных вихревых горелок

Наименование, размерность	Обозначение	Способ определения, источник, примечание	Dк100%	Dк70%	Dк50%	Dк50%
Скорость охлаждающего воздуха в растопочной горелке, м/с	Wохл	Принято	5	5	5	5
Диаметр трубы канала первичного воздуха, внутренний, м наружный, м	dвн dнар	Принято	0,337 0,730	0,337 0,730	0,337 0,730	0,337 0,730
Площадь выходного сечения канала первичного воздуха, м ²	F1		0,329	0,329	0,329	0,329
Скорость ПГС в канале первичного воздуха, м/с	W1		16,81	16,39	15,13	18,08
Площадь сечения канавторичного воздуха, м ²	F2		0,426	0,426	0,426	0,426
Скорость вторичного воздуха в канале, м/с	W2		26,41	18,43	20,29	24,84
Параметр крутки растопочной горелки	пр.гор.		1,5	1,5	1,5	1,5
Параметр крутки канала ПГС	n1		0,6	0,6	0,6	0,6
Параметр крутки канала вторичного воздуха	n2	Для горелок 1,2 яруса	2,8(1,45 ÷ 5,4) 3,0(1,45 ÷ 5,4)			

Таблица 14 - Расчет сопел нижнего дутья

Наименование, размерность	Обозначение	Способ определения,	Dк100%	Dк70%	Dк50%	Dк50%
Расход воздуха на нижнее дутье, м ³ /с , нм ³ /с	Vн.д.		11,83 6,41	8,12 4,55	5,98 3,41	5,93 3,40
Количество каналов, шт	Nн.д.		8	8	8	8
Ширина×высота канала, м	b × h		0,32×0,16	0,32×0,16	0,32×0,16	0,32×0,16
Скорость воздуха м/с	Wн.д.		35,21	24,16	17,79	17,66

Таблица 15 - Расчет сопел пристенного дутья

Наименование, размерность	Обозначение	Способ определения,	Dк100%	Dк70%	Dк50%	Dк50%
Расход воздуха на пристенное дутье, м ³ /с , нм ³ /с	Vприст.		11,83 6,41	8,12 4,55	5,98 3,41	5,93 3,40
Количество каналов, шт	Nприст.		8	8	8	8
Ширина×высота канала, м	b × h		0,14×0,30	0,14×0,30	0,14×0,30	0,14×0,30
Скорость воздуха м/с	Wприст.		35,21	24,16	17,79	17,66

7 Теплогидравлические расчёты котла

Поскольку Назаровский бурый уголь имеют высокую склонность к шлакованию ширмовых и конвективных поверхностей нагрева, принято решение увеличить поверхность ШПП с целью снижения температуры газов перед плотными конвективными пакетами. Установка дополнительной поверхности площадью $S=222\text{ м}^2$, позволит снизить температуру газов на $50-90^\circ\text{С}$, что снизит чрезмерное шлакование конвективных поверхностей нагрева. Тепловые расчеты котла выполнены с учетом всех изменений, касающихся тех. перевооружения узлов котла на основе действующих норм и правил. Результаты тепловых расчётов котла ПК-38 при сжигании Назаровского угля для нагрузок 100%, 70% и 50% представлены в таблице 16. При принятых технических решениях температура на выходе из топки (всередине выходного окна) для 100%-ной нагрузки котла будет находиться на уровне $\sim 1020-1050^\circ\text{С}$, температура уходящих газов – 149°С , что обуславливает потери с уходящими газами $q_2=7,57\%$ и КПД котла брутто – $91,4\%$ при $q_4=0,5$

Таблица 16 – Исходные данные к расчету

Наименование величин	Нагрузка			
	100%	93%	70%	50%
1 Топливо	Назаровский уголь: $Q_{ri}=3240\text{ ккал/кг}$; $W_r=39,0\%$; $A_r=7,3\%$; $S_r=0,59\%$; $C_r=38,55\%$; $H_r=2,63\%$; $N_r=0,45\%$; $O_r=11,48\%$;			
2 Паропроизводительность, т/ч	270	250	189	135
3 Давление первичного пара, кгс/см ²	140	140	140	140
4 Температура перегрева первичного пара, °С	545	545	545	545
5 Температура питательной воды, °С	233	230	218	205
6 Давление питательной воды, кгс/см ²	193,0	185,8	166,0	153,3
7 Расход вторичного пара, т/ч	240	223,2	168	120
8 Температура перегрева вторичного пара, °С	545	545	545	545
9 Давление вторичного пара на выходе, кгс/см ²	31,6	28,7	22,0	15,5
10 Температура вторичного пара на входе, °С	385	376	357	338
11 Давление вторичного пара на входе, кгс/см ²	33,6	30,4	23,0	16,0
12 Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки	1,18	1,18	1,18	1,7
13 Присос в топке	0,11	0,118	0,157	0,22
14 Присос в пылесистеме	-	-	-	-
15 Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	1,4	1,4	1,4	2,0

Таблица 17 – Исходные данные к расчету

Наименование величин	Нагрузка			
	100%	93%	70%	50%
16 Параметр М	<i>0,467</i>			
17 Доля рециркуляции горячих газов, %	0,226	0,234	0,272	0,257
18 Доля рециркуляции холодных газов, %	0,053	0,046	0,021	0,015
19 Температура газов на выходе из топки, °С	1020	1004	942	832
20 Температура уходящих газов за котлом, °С	149	146	135	129
21 Потеря тепла с уходящими газами, %	7,57	7,40	6,88	8,48
22 Потеря тепла с химическим недожогом, %	-	-	-	-
23 Потеря тепла с механическим недожогом, %	0,5	0,5	0,5	0,75
24 Потеря тепла в окружающую среду, %	0,5	0,54	0,71	1,0
25 Потеря с теплом шлака, %	0,015	0,015	0,015	0,015
26 КПД котла, %	91,4	91,5	91,9	89,7
27 Расход топлива, т/ч	61,63	57,29	43,77	32,92
28 Расчетный расход топлива, т/ч	61,32	57,01	43,56	32,67
29 Теплонапряжение объема топочной камеры, ккал/м ³ ч	99700	92600	70800	53200
30 Теплонапряжение сечения топочной камеры, ккал/м ² ч	2,52×10 ⁶	2,34×10 ⁶	1,79×10 ⁶	1,34×10 ⁶
31 Средняя тепловая нагрузка эффективной поверхности топки, ккал/м ² ч	59,1×10 ³	56,5×10 ³	47,6×10 ³	30,7×10 ³

7.1 Тепловой расчет нагрузка 100% Дном

Схема тракта первичного пара. Назаровский уголь. Нагрузка 100%

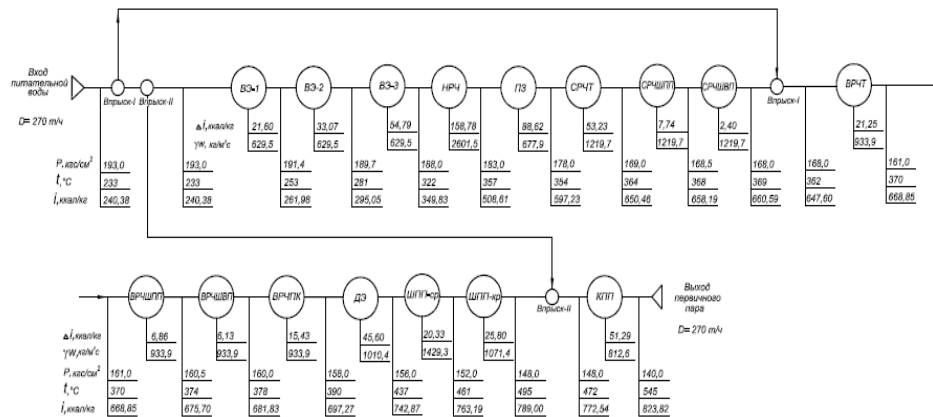
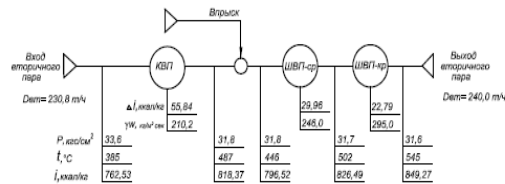
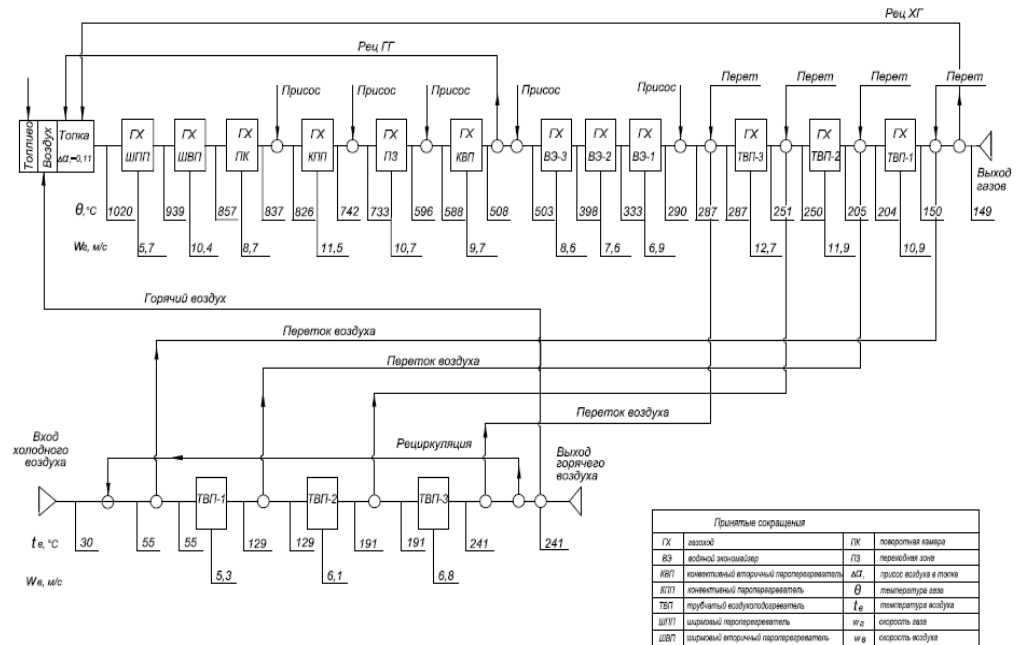


Схема тракта вторичного пара. Нагрузка 100 %



Принятые сокращения			
Т	топка	ПК	поверточная камера
ВЭ	водной экономайзер	Д	двигательность
НРЧ	нижняя радиационная часть	Р	радиация
ПЗ	переходная зона	Т	температура
СРЧ	средняя радиационная часть	и	интенсивность
СРЧШТ	средняя радиационная часть с штифтами	Δi	приращение энтальпии
ДЗ	доуветный экран	УК	массовая скорость
ВРЧ	верхняя радиационная часть	ШПТ	шиповый пароперегреватель
КВТ	конвективный пароперегреватель	Дет	размер вторичного пара
ШПТ	шиповый пароперегреватель	ср	средняя ширин
ШПТ-ср	шиповый пароперегреватель	кр	крайняя ширин
ШВТ	шиповый вторичный пароперегреватель		

Схема газозоудного тракта. Назаровский уголь. Нагрузка 100%



Принятые сокращения			
ГХ	газод	ПК	поверточная камера
ВЭ	водной экономайзер	ПЗ	переходная зона
КВТ	конвективный пароперегреватель	АД	присос воздуха в топку
КПТ	конвективный пароперегреватель	θ	температура газа
ТВП	трубчатый воздухоподогреватель	t_a	температура воздуха
ШПТ	шиповый пароперегреватель	и _г	скорость газа
ШВТ	шиповый вторичный пароперегреватель	и _в	скорость воздуха

Рисунок 31 – Тепловой расчет нагрузка 100 %

7.2 Тепловой расчет на нагрузку 70% Дном

Схема тракта первичного пара. Назаровский уголь. Нагрузка 70%

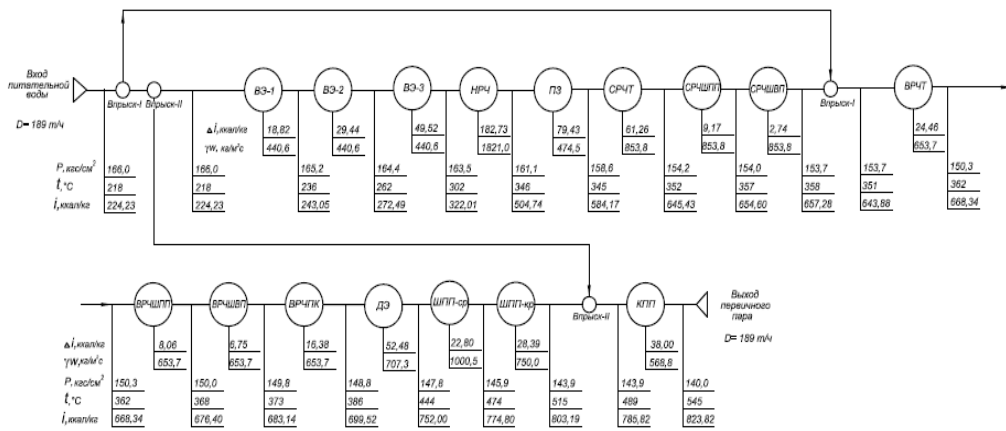
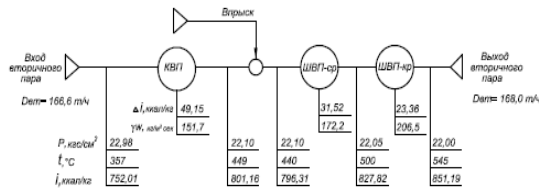


Схема тракта вторичного пара. Нагрузка 70 %



Принятые сокращения			
T	топка	ЛК	линейная камера
ВЭ	водный экономайзер	D	производительность
НРЧ	нижняя радиационная часть	p	давление
ПЗ	перегревная зона	t	температура
СРЧ	средняя радиационная часть	i	энтальпия
ДЭ	деаэрирующий эжектор	Δt	разница температур
ВРЧ	верхняя радиационная часть	γ	массовая скорость
КПТ	контактный пароперегреватель	Дит	расход вторичного пара
КВТ	контактный вторичный пароперегреватель	ср	средние ширмы
ШПТ	ширмовый пароперегреватель	кр	крайние ширмы
ШВТ	ширмовый вторичный пароперегреватель		

Схема газозвудушного тракта. Назаровский уголь. Нагрузка 70%

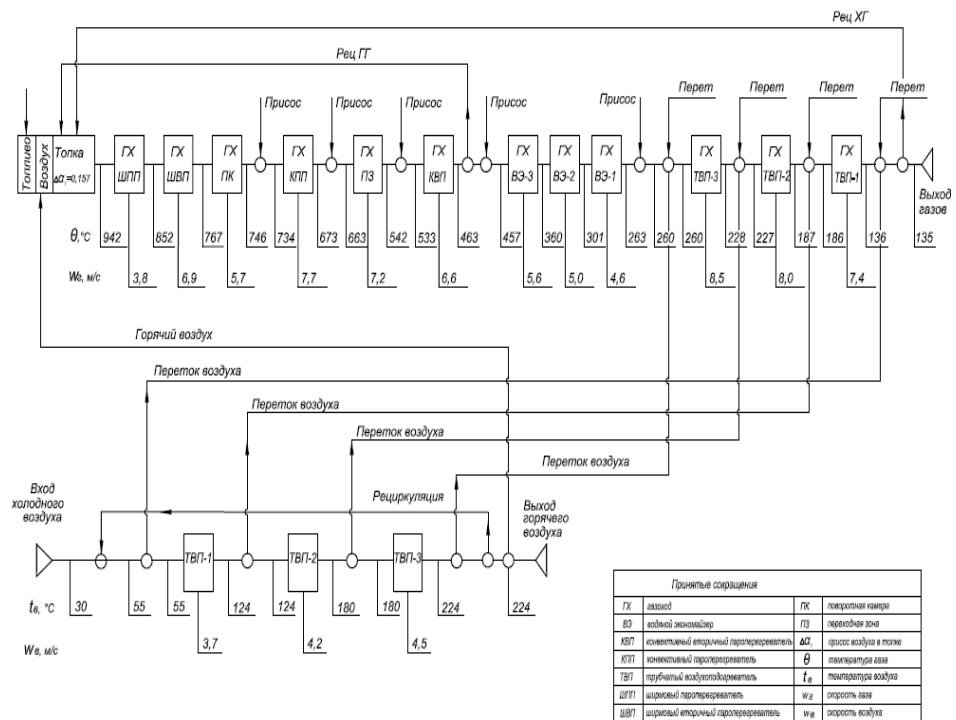


Рисунок 32 – Тепловой расчет нагрузка 70 %

7.3 Тепловой расчет на нагрузку 50% Дном

Схема тракта первичного пара. Назаровский уголь. Нагрузка 50%

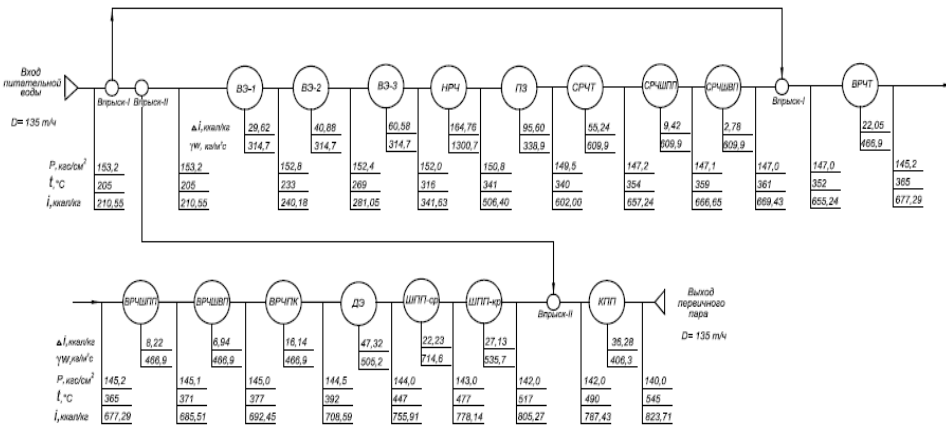
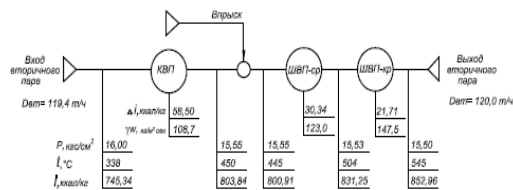
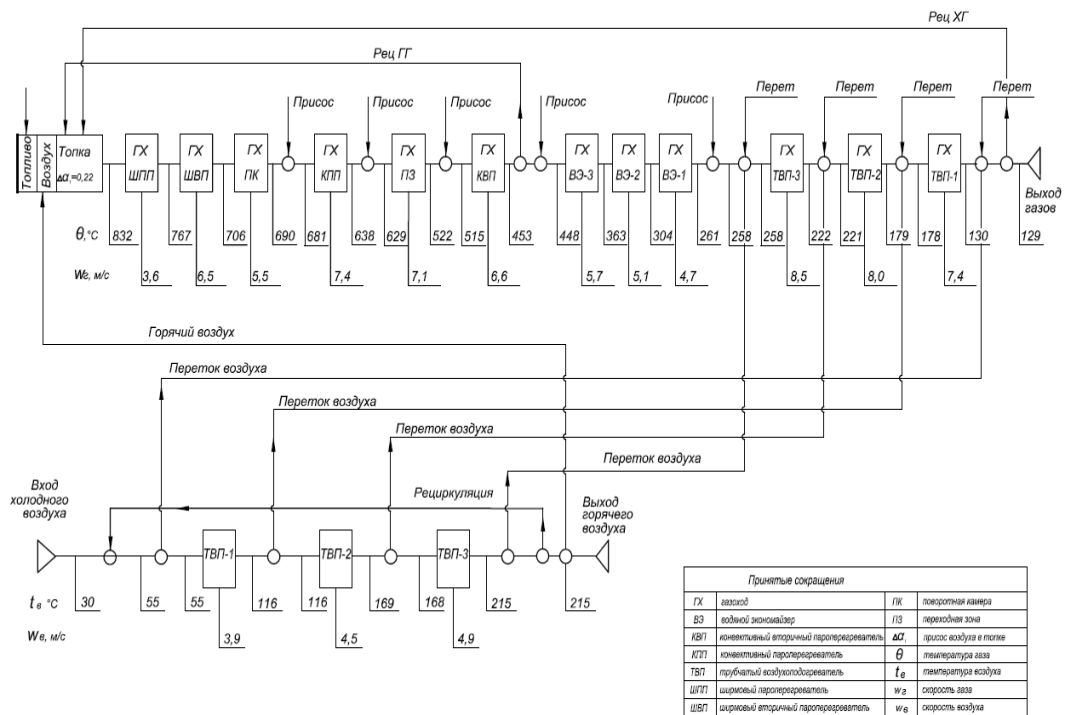


Схема тракта вторичного пара. Нагрузка 50 %



Принятые сокращения			
Т	площа	ПК	поворотная камера
ВЭ	водной экономайзер	Д	диаметр
НРЧ	нижняя радиационная часть	Р	разность
ПЗ	переходная зона	t	температура
СРЧ	средняя радиационная часть	i	энтальпия
ДЗ	доуветный жарен	Δi	приращение энтальпии
ВРЧ	верхняя радиационная часть	УМ	массовая скорость
КВП	контактный пароперегреватель	Ди	диаметр вторичного пара
КВПТ	контактный вторичный пароперегреватель	ср	среднее значение
ШПТ	широкий пароперегреватель	кр	крайнее значение
ШВП	широкий вторичный пароперегреватель		

Схема газозвдушного тракта. Назаровский уголь. Нагрузка 50%



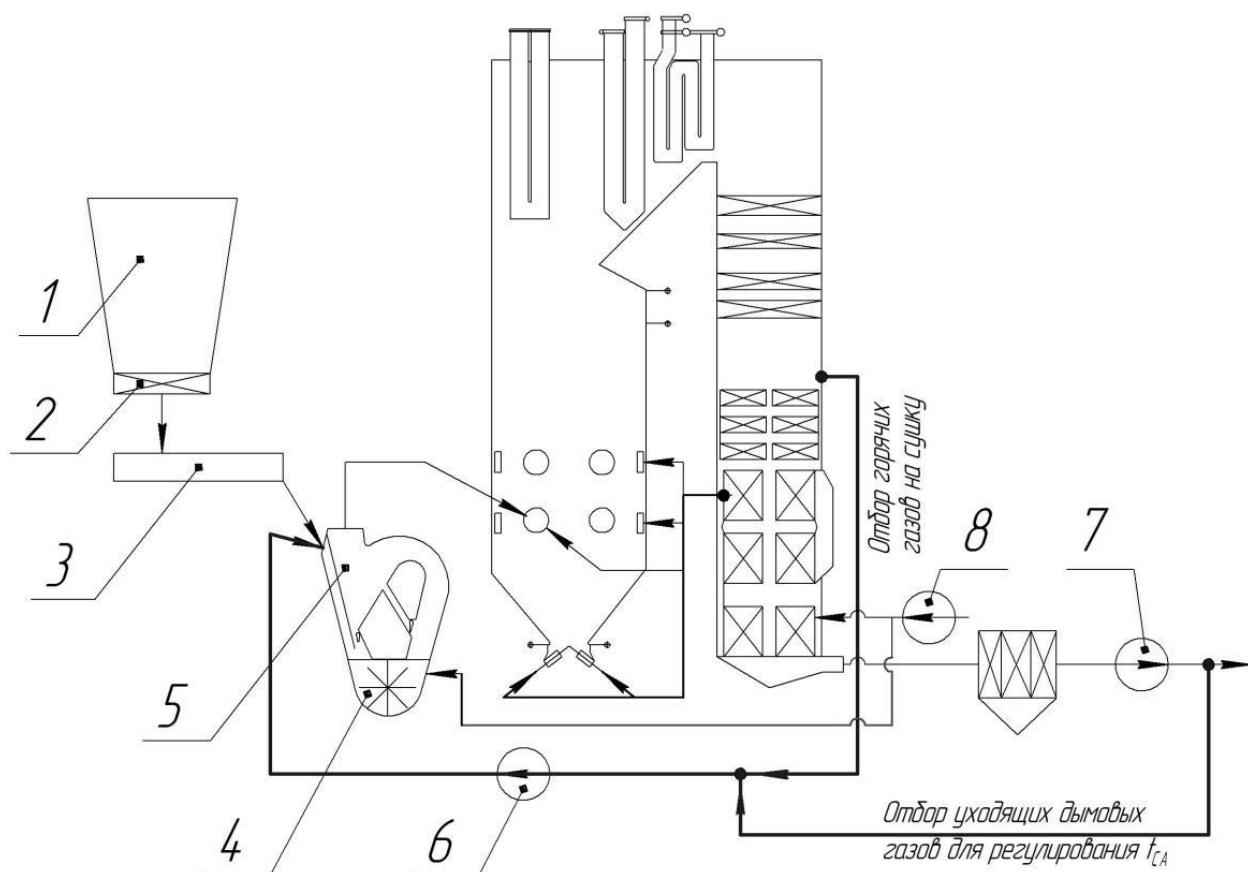
Принятые сокращения			
ГХ	газоход	ПК	поворотная камера
ВЭ	водной экономайзер	ПЗ	переходная зона
КВП	контактный пароперегреватель	Δt	прирос воздуха в плетке
КВПТ	контактный вторичный пароперегреватель	θ	температура газа
ТВП	трубчатый воздухоподогреватель	tв	температура воздуха
ШПТ	широкий пароперегреватель	wв	скорость газа
ШВП	широкий вторичный пароперегреватель	wв	скорость воздуха

Рисунок 33 – Тепловой расчет нагрузка 50 %

8 Расчет системы пылеприготовления

Согласно инструкции по обеспечению взрывобезопасности топливоподач и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива, сжигание топлив III и IV групп взрывоопасности рекомендуется осуществлять в системах пылеприготовления с газовой сушкой. Присадка подогретого или холодного воздуха в системах пылеприготовления с газовой сушкой топлива для проектируемых установок не допускается.

Принципиальная схема системы пылеприготовления по проекту тех. перевооружения представлена на рисунке 34.



1-бункер сырого угля; 2-отсекающий шибер; 3-скребковый питатель; 4-мельница молотковая; 5-сепаратор; 6- дрг; 7-дс; 8-дымосос рециркуляции газов;

Рисунок 34 - Принципиальная схема системы пылеприготовления

Принципиальные технические решения.

1. Расчёт выполнен по “Нормам расчёта и проектирования пылеприготовительных установок котельных агрегатов ЦКТИ-ВТИ”

2. Данные для теплового расчёта взяты из сводных таблиц, теплогидравлического расчёта котла на различных нагрузках.

3. Расчётный состав топлива и его характеристики приведены в таблице 18.

4. Принципиальная схема системы пылеприготовления с прямым вдуванием и газовой сушкой показана на рисунке 34.

5. В проекте применена индивидуальная система пылеприготовления с прямым вдуванием пыли в топку с размолем топлива в 4 реконструированных молотковых тангенциальных мельницах ШМТ 1500/1910 с инерционным сепаратором (4 мельницы на энергоблок) и с газовой сушкой топлива.

6. "Горячие" дымовые газы отбираются перед экономайзером; "холодные" дымовые газы отбираются за ДС. Регулирование температуры сушильного агента осуществляется за счет изменения долей отбора газов.

7. Реконструкция существующей молотковой мельницы ШМТ 1500/1910 с шахтным сепаратором предусматривает:

1) перевод системы пылеприготовления котельной установки на газовую сушку;

2) замену существующих шахтных (гравитационных) сепараторов шахтно-молотковых мельниц ШМТ-1500/1910 на инерционные; при этом корпуса мельниц и их фактическое расположение не подлежат реконструкции.

8. Расчеты пылеприготовления выполнены для котла номинальной паропроизводительностью 270 т/ч

9. Размольная производительность мельницы ШМТ 1500/1910 производства Черновицкого машиностроительного завода по данным АО "Тяжмаш" составит при размоле Назаровского угля ($k_{ло}=1,08$, $w_p=39\%$, $w_{ги}=14\%$, $w_{пл}=15,5\%$, $d_{max}=40\text{мм}$, $v_2=48000\text{м}^3/\text{ч}$) и замене шахтного сепаратора на инерционный:

$V_{max}=16\text{ т/ч}$ при $R90=45\%$;

$V_{max}=19\text{ т/ч}$ при $R90=55\%$.

$V_{max}=20\text{ т/ч}$ при $R90=57\%$.

10. Расход сушильно-вентилирующего агента за сепаратором мельницы ШМТ 1500/1910 с инерционным сепаратором по данным АО "Тяжмаш" находится в диапазоне $48\ 000\ \text{м}^3/\text{ч} \div 56\ 000\ \text{м}^3/\text{ч}$ при максимальной производительности мельницы.

11. Требуемая размольная производительность мельницы ШМТ 1500/1910 с инерционным сепаратором изменяется в диапазоне от $V_m = 9,5\text{ т/ч}$ при $R90=50\div 60\%$ (при нагрузке котла 50% в работе 3 мельниц, Бородинский уголь) до $V_m = 16,7\text{ т/ч}$ при $R90=50\div 60\%$ (при нагрузке котла 80% в работе 3 мельницы, Назаровский уголь).

12. Вентиляционная производительность мельницы с учётом сопротивления мельницы выбрана из условия обеспечения сушки топлива и выноса пыли и находится в пределах $36\ 000\ \text{м}^3/\text{ч} \div 44\ 000\ \text{м}^3/\text{ч}$ при температуре за мельницей в диапазоне $135^\circ\text{C} \div 84^\circ\text{C}$. Мельница должна допускать снижение вентиляции на 20% при снижении производительности на ~50%. При дальнейшем снижении размольной производительности вентиляция мельницы не изменяется.

13. Рабочая температура пылегазовой смеси за сепаратором поддерживается в диапазоне $t_2 = 135^{\circ}\text{C} \div 84^{\circ}\text{C}$. Предельно допустимая рабочая температура за сепаратором и аварийное отключение мельницы при 220 оС.

14. В качестве сушильного агента используется:

- основной компонент

- горячие газы рециркуляции с температурой $t_{\text{гг}} = 453...508$ оС в зависимости от режимов работы котла, отбираемые перед ЭЖО в конвективном газоходе котла;

- регулирующий компонент

- холодные газы рециркуляции с температурой $t_{\text{хг}} = 128$ оС... 149 оС в зависимости от режимов работы котла, отбираемые с напора дымососа для поддержания необходимой температуры пылегазовой смеси за мельницей и для поддержания температуры сушильного агента на входе в ДРГ не выше 430°C .

15. Расход воздуха на уплотнение мельницы от турбокомпрессора принят около $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре 30°C и учтён в расчетах с коэффициентом 0,75 (коэффициент перехода уплотняющего воздуха в сушильный агент).

16. Температура горячих газов перед пылеприготовительной установкой:

а) принята 430°C , как предельно возможная по условиям работы ДРГ;

б) рассчитана исходя из нормативных присосов воздуха в газоходах от КШ до ДРГ.

17. Мельница и сепаратор должны быть рассчитаны на давление 0,04 МПа и оснащены взрывными предохранительными клапанами (ВПК).

18. Влажность пыли за сепаратором мельницы принята в зависимости от достигаемой температуры пылегазовой смеси за пылеприготовительной установкой и составляет:

а) в диапазоне $W_{\text{пл}} = 12,0 \div 17,5\%$ для назаровских бурых углей;

19. Каждая мельниц а обеспечивает пылегазовой смесью 2 горелки котла (по 1 на первом и на втором ярусе, диагонально расположенных). Деление пыли и сушильного агента осуществляется сепаратором мельницы - по 50% на каждый из 2-х пылепроводов.

Таблица 18 - Результаты расчета. Назаровский бурый уголь

относительная нагрузка котла	%	100	93	80	70	50
число мельниц		4	4	3	3	3
низшая теплота сгорания топлива	ккал/кг	3240	3240	3240	3240	3240
Полный расход топлива на котел	т/ч	61,64	57,32	50,08	43,82	32,93
Расчетный расход топлива на котел	т/ч	61,33	57,03	49,83	43,6	32,67
Расход топлива на мельницу	т/ч	15,41	14,33	16,69	14,61	10,98
Влажность топлива	%	39	39	39	39	39
Теоретический объем воздуха	м ³ /кг	3,76	3,76	3,76	3,76	3,76
Влажность пыли	%	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
Расход пылегазовой смеси за мельницей	тыс. м ³ /ч	40	37	44	39	36
Температура пылегаз.смеси за установкой	°С	84	83	86	86	104
Количество сушильного агента на входе в мельницу	кг/кг	2,082	2,074	2,107	2,13	2,527
Температура сушильного агента перед мельницей	°С	430	430	430	430	430
Температура точки росы	°С	69	69	69	69	69
Концентрация кислорода в пылегазовой смеси	%	4,8	4,8	5,3	4,8	8,9
Доля первичного воздуха		0,086	0,085	0,095	0,086	0,199
Присос воздуха в пылесистему		0	0	0	0	0
Входное количество сушильного агента(по нормам)	кг/кг	2,11	2,104	2,133	2,16	2,566
Расход сушильного агента на входе в мельницу	нм ³ /с	27,7	25,7	22,8	20,1	18,0
газы из конв. Газоходов котла						
температура в отборе	°С	508	497	477	462	454
температура перед установкой	°С	499	488	455	454	448
доля в сушильном агенте	кг/кг	0,787	0,812	0,906	0,909	0,927
коэффициент рециркуляции		0,226	0,234	0,26	0,272	0,257
расход при нормальных условиях	тыс. м ³ /ч нм ³ /с	79,51 22,1	76,09 21,1	75,21 20,09	66,87 18,6	60,89 16,9
расход в рабочих условиях	тыс. м ³ /ч	224,9	212,2	200,6	178,1	160,7
уходящие газы						
температура в отборе	°С	149	147	143	139	128
температура перед установкой	°С	141	139	135	131	122
доля в сушильном агенте	кг/кг	0,2	0,174	0,082	0,077	0,058
коэффициент рециркуляции		0,053	0,046	0,022	0,021	0,015
расход при нормальных условиях	тыс. м ³ /ч нм ³ /с	20,22 5,6	16,3 4,5	6,801 1,9	5,661 1,6	3,786 1,1
расход в рабочих условиях	тыс. м ³ /ч	30,62	24,57	10,16	8,379	5,478
Воздух на уплотнение мельниц						
температура	°С	30	30	30	30	30
доля в сушильном агенте	кг/кг	0,013	0,014	0,012	0,014	0,015

Продолжение таблицы 18

относит. количество воздуха		0,006	0,006	0,005	0,006	0,008
расход при нормальных условиях	тыс. м3/ч	1,351	1,351	1,014	1,014	1,014
расход в рабочих условиях	тыс. м3/ч	1,5	1,5	1,125	1,125	1,125
газы из конв. газоходов - сушильный агент						
коэффициент рециркуляции		0,226	0,234	0,26	0,272	0,257
Расход при нормальных условиях	тыс. м3/ч нм3/с	77,92 21,6	74,57 20,07	71,26 19,8	65,51 18,2	59,93 16,6
уходящие газы сушильный агент						
коэффициент рециркуляции		0,053	0,046	0,022	0,021	0,015
расход при нормальных условиях	тыс. м3/ч нм3/с	18,97 5,3	15,29 4,2	6,382 1,8	5,311 1,5	3,598 1,0
Общий воздушный баланс топочно-горелочного устройства						
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки		1,18	1,18	1,18	1,18	1,7
Коэффициент избытка воздуха в топке		1,18	1,18	1,18	1,18	1,7
Относительное количество воздуха в потоках:						
воздух в сушильном агенте (суммарный)		0,0855	0,0854	0,0949	0,0864	0,1987
присосы воздуха в топку		0,11	0,119	0,14	0,157	0,22
суммарный воздух в топку (без сушильного агента)		0,9845	0,9756	0,9451	0,9366	1,2813

Основные результаты теплового расчета системы пылеприготовления на номинальном режиме работы котла и всех четырех систем пылеприготовления:

- Температура сушильного агента на входе в мельницу, $t'_{\text{м}}=430\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Температура сушильного агента на выходе из мельницы, $t''_{\text{м}}=84\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Влажность пыли $W_{\text{пл}}=15,5\%$.

Температура сушильного агента (смеси дымовых газов) составляет 430°C , что выше текущей температуры сушильного агента для существующих мельниц с шахтными сепараторами (при воздушной сушке топлива $t_{\text{гв}}\approx 350\text{--}380^{\circ}\text{C}$).

Рабочие колеса и прочие элементы проточной части дымососов рециркуляции дымовых газов выполняются в износостойком исполнении. Это позволит отказаться от установки циклонов очистки (от золовых частиц) при стесненной компоновке котла и КВО. Подобные решения доказали свою эффективность на ряде ТЭС при использовании малозольных топлив.

Выводы:

Для подготовки топлива к сжиганию в настоящих проектных решениях принята система пылеприготовления прямого вдувания пыли в топку с размолотом топлива в 4 молотковых мельницах типа ШМТ-1500/1910 с установкой новых инерционных сепараторов и с газовой сушкой топлива.

В проекте предусматривается:

- перевод системы пылеприготовления на газовую сушку;
- замену существующих шахтных (гравитационных) сепараторов шахтно молотковых мельниц на новые инерционные с целью понижения тонины помола (при этом сами мельницы сохраняются в первоначальном (проектном) исполнении. По условиям оптимальной работы топочно-горелочных устройств и экранных поверхностей нагрева в работе должно находиться максимальное количество систем пылеприготовления: 4 – для $0,7 \div 1,0 D_{\text{ном}}$, 3 – для $0,5 \div 0,7 D_{\text{ном}}$. Отбор газов для сушки топлива производится из двух точек газового тракта: перед экономайзером и за основным дымососом. Регулирование температуры сушильного агента осуществляется за счет изменения долей отбора газов.

9 Аэродинамические расчеты котла

Расчеты проведены с целью:

- выбора параметров ТДМ;
- проверки правильности выбора сечений и параметров топочно-горелочного устройства;
- распределения воздуха на горелки, пристенные сопла, нижнее дутье и газовой рециркуляции на сушку топлива. Расчеты выполнены по нормативному методу аэродинамических расчетов котельных установок и расчетов пылеприготовления.

Аэродинамические расчёты котла выполнены на режимах:

$D_k = 100\%D_n$ при работе на 4-х пылесистемах, в работе два ДВ, ДС и ДРГ.

$D_k = 70\%D_n$ при работе на 3-х пылесистемах, в работе два ДВ, ДС и ДРГ.

$D_k = 50\%D_n$ при работе на 3-х пылесистемах в работе два ДВ, ДС и ДРГ.

Забор холодного воздуха осуществляется с верхней отметки котельного отделения с температурой +30 °С и последующим нагревом до +55 °С за счёт рециркуляции части горячего воздуха на всас дутьевого вентилятора. Расчет пылегазового тракта системы пылеприготовления выполнен при установке инерционных сепараторов на существующие мельницы и вентиляционной производительности мельницы 40000 - 36000 м³ /ч при размольной производительности от 11 до 15,5 т/ч назаровского бурого угля. Для расчётов рассматривался режим подключения 4-х котлов на одну дымовую трубу при работе котлов на нагрузке 100% D_n .

Таблица 19 - Исходные данные к расчёту воздушного тракта на котёл

№ п/п	Наименование	Размерность	$D_k=100\%D_n$ $Z_M=4$	$D_k=70\% D_n$ $Z_M=3$	$D_k=50\%D_n$ $Z_M=3$
1	Полный расход топлива, Вп	т/ч	61,64	43,78	32,92
2	Расчетный расход топлива; Вр	т/ч	61,63	43,56	32,67
3	Теоретически необходимый объём воздуха на сухую массу; V_o	нм ³ /кг	3,76	3,76	3,76
4	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки; a/t	-	1,18	1,18	1,7
5	Присосы холодного воздуха в топке; Da_t	-	0,11	0,157	0,22
6	Присосы воздуха в ТВП; Da_t вп	-	0,09	0,129	0,18
7	Доля вторичного воздуха в горелки 1-го яруса; Da_1 яр гор	-	0,383	0,293	0,405
8	Доля вторичного воздуха в горелки 2-го яруса; Da_2 яр гор	-	0,383	0,293	0,405
9	Суммарная доля вторичного воздуха на горелки; $Da_{вт}$	-	0,766	0,586	0,81

Продолжение таблицы 19

10	Доля вторичного воздуха на охлаждение центрального канала горелки; Дацк гор	-	0,018	0,03	0,07
11	Доля вторичного воздуха на охлаждение неработающих горелок; Данг гор	-	0	0,121	0,201
12	Доля вторичного воздуха в пристенные сопла; Даприст	-	0,1	0,1	0,1
13	Доля вторичного воздуха на сопла нижнего дутья; Данд	-	0,1	0,1	0,1
14	Доля рециркуляции горячего воздуха на всас ДВ, βрец	-	0,156	0,167	0,251
15	Плотность влажного воздуха го,	-	0,131	0,131	0,131
16	Температура холодного воздуха; tхв	°С	30	30	30
17	Температура воздуха перед ТВП; t/твп	°С	55	55	55
18	Температура горячего воздуха после ТВП; t /твп	°С	241	224	215
19	Относительный расход холодного воздуха на входе в тракт, а/хв	-	1,16	1,15	1,66
20	Относительный расход воздуха перед ДВ, а/дв	-	1,316	1,319	1,911
21	Относительный расход воздуха после ТВП, а//твп	-	1,226	1,19	1,73

Таблица 20 - Секундные расходы воздуха по участкам тракта на котёл

№	Секундные расходы	Дк=100%Dн	Дк=70%Dн	Дк=50%Dн
1	Расход холодного воздуха на входе в тракт; м ³ //с	83,8	59,1	63,9
2	Расход воздуха на всас ДВ ; м ³ /с	102,9	73,3	79,6
3	Расход воздуха перед ТВП; м ³ //с	102,9	73,3	79,6
4	Расход воздуха после ТВП; м ³ //с	150,2	100,2	107,3
5	Расход рециркуляции горячего воздуха на всас ДВ; м ³ //с	19,1	14,1	15,6
6	Расход вторичного воздуха на горелки 1-го яруса; м ³ //с	46,9	24,7	25,1
7	Расход вторичного воздуха на горелки 2-го яруса; м ³ //с	46,9	24,7	25,1
8	Расход вторичного воздуха на охлаждение центрального канала горелок; м ³ //с	2,2	2,5	4,3
9	Расход вторичного воздуха на охлаждение неработающих горелок; м ³ //с	-	10,2	12,5

Продолжение таблицы 20

10	Расход вторичного воздуха в пристенные сопла; м ³ //с	12,3	8,4	6,2
11	Расход вторичного воздуха в сопла нижнего дутья; м ³ //с	12,3	8,4	6,2

Таблица 21 - Плотности воздуха по участкам тракта

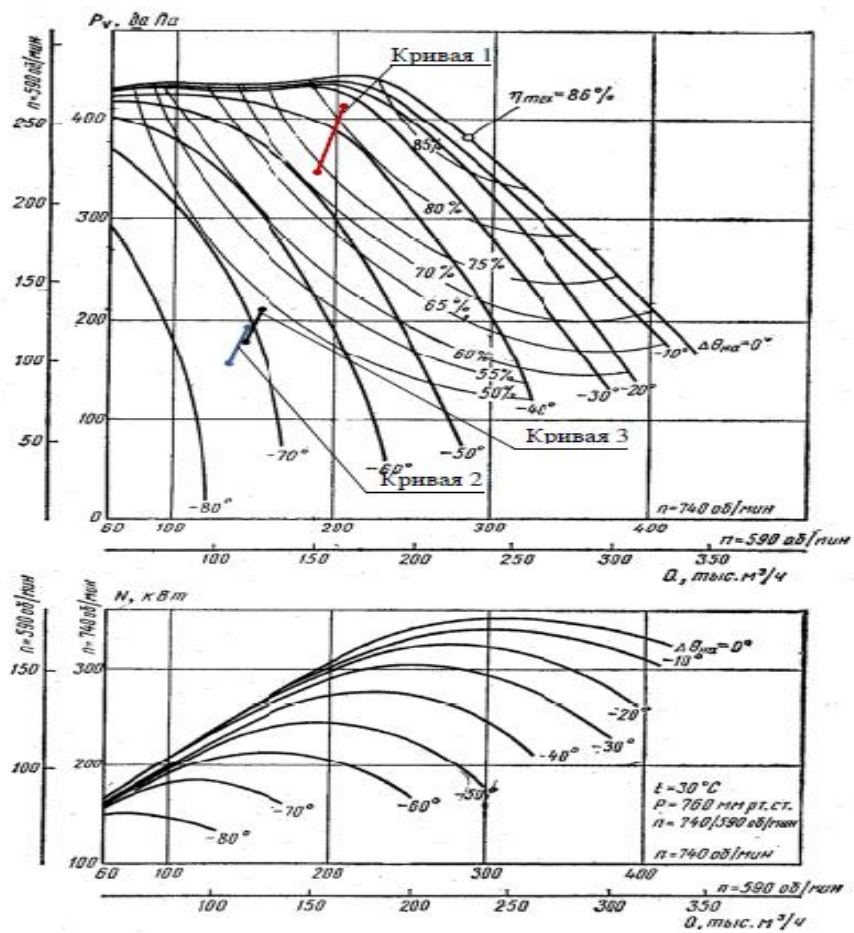
№ п/п	Плотность воздуха	D _к =100%D _н Z _м =4	D _к =70%D _н Z _м =3	D _к =50%D _н Z _м =3
1	Плотность холодного воздуха на входе в тракт	0,118	0,118	0,118
2	Плотность воздуха на всасе дутьевого вентилятора	0,11	0,11	0,11
3	Плотность воздуха перед ТВП	0,11	0,11	0,11
4	Плотность воздуха после ТВП	0,7	0,72	0,73

Таблица 22 - Тракт вторичного воздуха

№ п/п	Наименование, размерность	D _к =100%D _н Z _м =4	D _к =70%D _н Z _м =3	D _к =50%D _н Z _м =3
Сопротивления по трактам.				
1	Участок от воздухозаборного окна до основного ДВ, мм вод ст	39,2	19,9	23,6
2	Участок от основного дутьевого вентилятора до ВЗП, мм вод ст	13,5	6,9	8,1
3	Трубчатый ВЗП, мм вод ст	102,4	50,0	58,7
4	Участок от ВЗП до дальней горелки 2-го яруса, мм вод ст	56,0	27,3	26,9
5	Горелка вихревая, мм вод ст	120,0	61,0	65,1
6	Суммарное сопротивление тракта вторичного воздуха к горелкам, мм вод ст	331,1	165,1	182,4
7	Барометрическое давление в месте установки, мм рт ст	737	737	737
8	Суммарное сопротивление тракта вторичного воздуха, мм вод ст	337,3	169,3	186,6
9	Разрежение в топке на уровне горелок 2-го яруса, мм вод ст	21,8	21,8	21,8
10	Самотяга ТВП, мм вод ст	2,4	2,3	2,3
11	Самотяга тракта горячего воздуха к горелкам, мм вод ст	2,1	2,0	1,9
12	Перепад полных давлений по тракту, мм вод ст	310,8	143,2	160,6
Параметры основного дутьевого вентилятора.				
1	Часовая производительность, м ³ //ч	189,8×10 ³	135,5 ×10 ³	147,0×10 ³

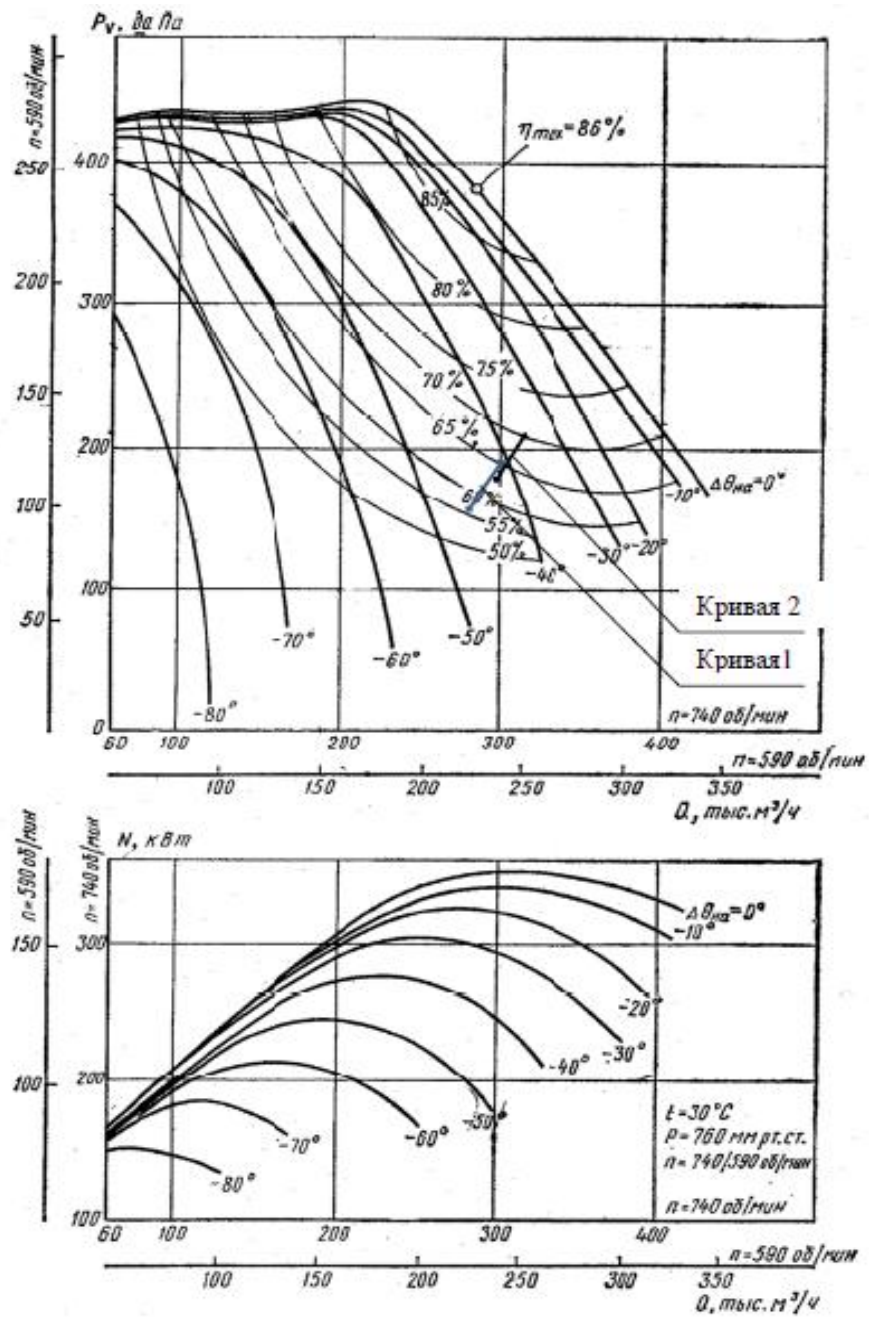
Продолжение таблицы 22

2	Расчетная производительность с запасом 10%, м ³ //ч	208,8×10 ³	149,1×10 ³	161,7×10 ³
3	Перепад полных давлений в тракте , мм вод ст	310,8	143,2	160,6
4	Расчетное полное давление с запасом 20%, мм вод.ст	373,0	171,9	192,7
5	Коэффициент приведения к условиям, для которых составлена характеристика	1,11	1,11	1,11
6	Приведённый перепад полных давлений к условиям характеристики ДВ , мм вод.ст.	345	159	178,3
7	Расчетное полное давление, приведенное к условиям характеристики ДВ, мм вод.ст	414	190,8	214
8	Температура воздуха перед ДВ , °С	55	55	55
9	Количество машин в работе, шт.	2	2	2
10	Число оборотов машины, об/мин	740	740	740
11	Потребляемая мощность электродвигателя в рабочей точке, кВт	255,5	161	184



Кривая 1 – нагрузка котла 100% D_n , в работе 2 вентилятора
 Кривая 2 – нагрузка котла 70% D_n , в работе 2 вентилятора
 Кривая 3 – нагрузка котла 50% D_n , в работе 2 вентилятора

Рисунок 35 - Аэродинамическая характеристика дутьевого вентилятора по типу ВДН-24 ($n=740$ об/мин)



Кривая 1 – нагрузка котла 70% Дн, в работе 1 вентилятора
 Кривая 2 – нагрузка котла 50% Дн, в работе 1 вентилятора

Рисунок 36 - Аэродинамическая характеристика дутьевого вентилятора по типу ВДН-24 ($n=740 \text{ об/мин}$)

Исходные данные к расчётам газового тракта котла представлены в таблицах 23 - 32. для нагрузок котла 100%, 70% и 50%.

Таблица 23 - Исходные данные к расчету газового тракта

№	Наименование	Размерность	Dк=100%Dн	Dк=70%Dн	Dк=50%Dн
1	Полный расход топлива, Вп	т/ч	61,64	43,78	32,92
2	Расчетный расход топлива; Вр	т/ч	61,63	43,56	32,67
3	Теоретически необходимый объем воздуха на сухую массу; V^o	нм3/кг	3,76	3,76	3,76
4	Теоретический объем трёхатомных газов; V_{RO2}	нм3/кг	0,72	0,72	0,72
5	Теоретический объем азота; V_{N2}^o	нм3/кг	2,98	2,98	2,98
6	Теоретический объем водяных паров; V_{H2O}^o	нм3/кг	0,84	0,84	0,84
7	Коэффициент избытка воздуха в конце топки; a_t''	-	1,18	1,18	1,7
8	Присосы холодного воздуха в топке; $\Delta\alpha_t$	-	0,11	0,157	0,22
9	Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах за ТВП; $\Delta\alpha_{ух}$	-	1,41	1,44	2,01
10	Температура уходящих газов за ТВП; $\vartheta_{ух}$	°С	150	136	130
11	Расход горячих дымовых газов в месте отбора; $V_{г}$	М ³ /С	346,2	237,7	233,1
12	Температура горячих дымовых газов в месте отбора; $\vartheta_{г}$	°С	508	463	453

Таблица 24 - Нагрузка котла 100%Dн

Наименование величин	ШПП	ШВП	ПК	КПП	ПЗ
1	2	3	4	5	6
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	32x6	57x4	42x5	32x6	32x3
Шаги труб, S_1/S_2	663/38	408/61	-	109/93	101/44
- поперечный	663	408	-	109	101
- продольный	38	61	-	93	44
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;			-		
$\sigma_1 = S_1/d_H$	20,72	7,16	-	3,41	3,16
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,19	1,07	-	2,91	1,38
Число труб по ходу газа, Z,	54	48	-	12	16
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ , ψ			-		
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	-	-	-	107,8	67
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	-	-	-	108,58	100,09
$\psi = (S_1-d)/(S_2-d)$	105,17	87,75	-	-	-
Сечение для прохода газов, F_g , м ²	91	47	48,2	39	37,7
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0	0	0	0,03	0,03
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,18	1,18	1,18	1,21	1,24
Ср. коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ср}$	1,18	1,18	1,18	1,195	1,225
Температура газов перед газоходом, $T''_г$, °С	1020	939	857	826	733
Температура газов за газоходом, $T''_г$, °С	939	857	837	742	596
Объем дымовых газов за газоходом V_g , нм ³ /кг	5,23	5,23	5,23	5,34	5,46
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс ² /м ⁴	0,030	0,032	0,03	0,035	0,041
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr} , r_{xr}	$1+r_{rr}+r_{xr}=1+0,22+0,055=1,275$				
Секундный расход газов за газоходом, V_c'' , м ³ /с	504,1	470	462	431,4	377,3
Средняя температура газов в газоходе, $T_{ср}$, °С	979,5	898	847	784	664,5
Средний объем газов в газоходе, $V_g^{ср}$, нм ³ /кг	5,26	5,23	5,23	5,29	5,4
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс ² /м ⁴	0,030	0,031	0,03	0,034	0,038
Средний секундный расход газов в газоходе, $V_c^{ср}$, м ³ /с	524,5	487	466	444,5	402,8
Средняя скорость газов, W_g , м/с	5,7	10,4	8,7	11,5	10,7
Поправочный коэффициент К	1,2	1,2	-	1,2	1,1

Таблица 25 - Нагрузка котла 100%Dн

Наименование величин	КВП	ЭКОЗ	ЭКО2	ЭКО1	ТВП-3
	7	8	9	10	11
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	42x4	32x4	32x4	32x4	40x1,5
Шаги труб, S_1/S_2	128/56	78/40	78/40	78/40	66/42
- поперечный	128	78	78	78	66
-продольный	56	40	40	40	42
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;					
$\sigma_1 = S_1/d_H$	3,05	2,44	2,44	2,44	1,65
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,33	1,25	1,25	1,25	1,05
Число труб по ходу газа, Z,	32	20	20	20	49
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ					
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	85	55,9	55,9	55,9	53,4
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	127,02	76,66	76,66	76,66	63,02
$\phi = (S_1-d)/(S_2-d)$	-	-	-	-	-
Сечение для прохода газов, F_{Γ}, M^2	37,1	30,9	30,9	30,9	16
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0,03	0,0133	0,013	0,0133	0,03
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,27	1,283	1,297	1,310	1,340
Ср. коэффициент избытка воздуха, a_{cp}	1,255	1,277	1,29	1,303	1,325
Температура газов перед газоходом, $T'_{\Gamma}, ^\circ C$	588	503	398	333	287
Температура газов за газоходом, $T''_{\Gamma}, ^\circ C$	508	398	333	290	251
Объем дымовых газов за газоходом $V_{\Gamma}, HM^3/кг$	5,57	5,62	5,67	5,72	5,84
Плотность дымовых газов за газоходом, $\rho'', кгс^2/м^4$	0,046	0,053	0,059	0,064	0,068
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1+r_{rr}+r_{xr}=1+0,22+0,055=1,275$				
Секундный расход газов за газоходом, $V_c'', м^3/с$	346,2	248,4	226,3	212,2	201,4
Средняя температура газов в газоходе, $T_{cp}, ^\circ C$	548	450,5	365,5	311,5	269
Средний объем газов в газоходе, $V_{\Gamma}^{cp}, нм^3/кг$	5,51	5,6	5,65	5,7	5,78
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{cp}, кгс^2/м^4$	0,043	0,050	0,056	0,061	0,066
Средний секундный расход газов в газоходе, $V_c^{cp}, м^3/с$	360,2	266,6	237,4	219,3	206,3
Средняя скорость газов, $W_{\Gamma}, м/с$	9,7	8,6	7,6	6,9	12,7
Поправочный коэффициент К	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1

Таблица 26 - Нагрузка котла 100%D_H

Наименование величин	ТВП-2	ТВП-1	БЦУ	ДС-ДТ
	12	13	14	15
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	40x1,5	40x1,5	-	-
Шаги труб, S_1/S_2	66/42	66/42	-	-
- поперечный	66	66	-	-
- продольный	42	42	-	-
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;			-	-
$\sigma_1 = S_1/d_H$	1,65	1,65	-	-
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,05	1,05	-	-
Число труб по ходу газа, Z ,	49	49	-	-
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ			-	-
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	53,4	53,4	-	-
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	63,02	63,02	-	-
$\phi = (S_1-d)/(S_2-d)$	-	-	-	-
Сечение для прохода газов, F_{Γ} , м ²	16	16	-	-
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0,03	0,03	0,05	-
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,37	1,4	1,465	1,476
Ср. коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ср}$	1,355	1,385	1,44	-
Температура газов перед газоходом, T_{Γ} , °С	250	204	149	144,1
Температура газов за газоходом, T''_{Γ} , °С	205	150	144,9	144,1
Объем дымовых газов за газоходом V_{Γ} , нм ³ /кг	5,95	6,07	6,32	6,36
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс ² /м ⁴	0,075	0,085	0,086	0,086
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1+r_{rr}+r_{xr}=1+0,22+0,055=1,275$			
Секундный расход газов за газоходом, V_c'' , м ³ /с	187,3	169,0	173,8	165,5
Средняя температура газов в газоходе, $T_{ср}$, °С	227,5	177,0	147	144,1
Средний объем газов в газоходе, V_{Γ}^{cp} , нм ³ /кг	5,90	6,01	6,22	6,36
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс ² /м ⁴	0,072	0,080	0,085	0,086
Средний секундный расход газов в газоходе, V_c^{cp} , м ³ /с	194,3	178,1	172	165,5
Средняя скорость газов, W_{Γ} , м/с	11,9	11,9	-	-
Поправочный коэффициент K	1,1	1,1	-	-

Таблица 27 - Нагрузка котла 70%Dн

Наименование величин	ШПП	ШВП	ПК	КПП	ПЗ
1	2	3	4	5	6
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	32x6	57x4	42x5	32x6	32x3,5
Шаги труб, S_1/S_2	663/38	408/61	-	109/93	101/44
- поперечный	663	408	-	109	101
- продольный	38	61	-	93	44
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;			-		
$\sigma_1 = S_1/d_H$	20,72	7,16	-	3,41	3,16
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,19	1,07	-	2,91	1,38
Число труб по ходу газа, Z,	54	48	-	12	16
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ			-		
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	-	-	-	107,8	67
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	-	-	-	108,58	100,09
$\psi = (S_1-d)/(S_2-d)$	105,17	87,75	-	-	-
Сечение для прохода газов, Fг, м2	91	47	48,2	39	37,7
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0	0	0	0,036	0,036
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,18	1,18	1,18	1,216	1,252
Ср. коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ср}$	1,18	1,18	1,18	1,198	1,234
Температура газов перед газоходом, T'г, °C	942	852	767	734	663
Температура газов за газоходом, T''г, °C	852	767	746	673	542
Объем дымовых газов за газоходом Vг нм ³ /кг	5,23	5,23	5,23	5,37	5,5
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс2/м4	0,032	0,034	0,035	0,038	0,044
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1 + r_{xr} = 1 + 0,022 = 1,022$				
Секундный расход газов за газоходом, Vc'', м ³ /с	336,8	311,3	305	290,6	256,8
Средняя температура газов в газоходе, Tср, °C	897	809,5	756,5	703,5	602,5
Средний объем газов в газоходе, Vг ^{ср} , нм3/кг	5,26	5,23	5,23	5,3	5,43
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс2/м4	0,031	0,033	0,035	0,036	0,041
Средний секундный расход газов в газоходе, Vг ^{ср} , м3/с	352,7	324,1	308,2	296,2	272,4
Средняя скорость газов, Wг, м/с	3,8	6,9	5,7	7,7	7,2
Поправочный коэффициент K	1,2	1,2	-	1,2	1,1

Таблица 28 - Нагрузка котла 70%Dн

Наименование величин	КВП	ЭКО3	ЭКО2	ЭКО1	ТВП-3
	7	8	9	10	11
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	42x4	32x4	32x4	32x4	40x1,5
Шаги труб, S_1/S_2	128/56	78/40	78/40	78/40	66/42
- поперечный	128	78	78	78	66
-продольный	56	40	40	40	42
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;					
$\sigma_1 = S_1/d_H$	3,05	2,44	2,44	2,44	1,65
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,33	1,25	1,25	1,25	1,05
Число труб по ходу газа, Z,	32	20	20	20	49
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ					
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	85	55,9	55,9	55,9	53,4
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	127,02	76,66	76,66	76,66	63,02
$\phi = (S_1-d)/(S_2-d)$	-	-	-	-	-
Сечение для прохода газов, Fг, м2	37,1	30,9	30,9	30,9	16
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0,036	0,016	0,016	0,016	0,036
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,288	1,304	1,32	1,336	1,372
Ср. коэффициент избытка воздуха, $a_{ср}$	1,27	1,296	1,312	1,328	1,354
Температура газов перед газоходом, Tг, °C	533	457	360	301	260
Температура газов за газоходом, T''г, °C	463	360	301	263	228
Объем дымовых газов за газоходом Vг, нм3/кг	5,64	5,7	5,76	5,82	5,96
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс2/м4	0,049	0,057	0,062	0,067	0,071
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1 + r_{xr} = 1 + 0,022 = 1,022$				
Секундный расход газов за газоходом, Vc'', м3/с	237,7	163,5	149,8	141,4	135,3
Средняя температура газов в газоходе, Tср, °C	498	408,5	330,5	282	244
Средний объем газов в газоходе, V_g^{cp} , нм3/кг	5,57	5,67	5,73	5,79	5,89
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс2/м4	0,046	0,053	0,059	0,065	0,069
Средний секундный расход газов в газоходе, V_c^{cp} , м3/с	246	175,1	156,7	145,6	138
Средняя скорость газов, Wг, м/с	6,6	5,6	5	4,6	12,7
Поправочный коэффициент K	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1

Таблица 29 - Нагрузка котла 70%Dн

Наименование величин	ТВП-2	ТВП-1	БЦУ	ДС-ДТ
	12	13	14	15
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	40x1,5	40x1,5	-	-
Шаги труб, S_1/S_2	66/42	66/42	-	-
- поперечный	66	66	-	-
- продольный	42	42	-	-
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;			-	-
$\sigma_1 = S_1/d_H$	1,65	1,65	-	-
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,05	1,05	-	-
Число труб по ходу газа, Z ,	49	49	-	-
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ			-	-
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	53,4	53,4	-	-
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	63,02	63,02	-	-
$\phi = (S_1-d)/(S_2-d)$	-	-	-	-
Сечение для прохода газов, $F_{г}$, м ²	16	16	-	-
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0,036	0,036	0,05	-
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,408	1,444	1,509	1,52
Ср. коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ср}$	1,39	1,426	1,484	-
Температура газов перед газоходом, $\vartheta'_{г}$, °С	228	187	135	131
Температура газов за газоходом, $\vartheta''_{г}$, °С	187	136	131	131
Объем дымовых газов за газоходом $V_{г}$, м ³ /кг	6,1	6,24	6,48	6,53
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс ² /м ⁴	0,078	0,087	0,088	0,089
Относительный расход газов рециркуляции, $r_{гг}, r_{гт}$	$1 + r_{гг} = 1 + 0,022 = 1,022$			
Секундный расход газов за газоходом, $V_{с}''$, м ³ /с	127,1	115,5	118,8	116,8
Средняя температура газов в газоходе, $T_{ср}$, °С	207,5	161,5	133,2	130,7
Средний объем газов в газоходе, $V_{г}^{ср}$, нм ³ /кг	6,03	6,17	6,39	6,53
Средняя плотность газов в газоходе, $\rho_{ср}$, кгс ² /м ⁴	0,075	0,083	0,088	0,089
Средний секундный расход газов в газоходе, $V_{с}^{ср}$, м ³ /с	131,2	121,4	117,6	116,8
Средняя скорость газов, $W_{г}$, м/с	11,9	10,9	-	-
Поправочный коэффициент K	1,1	1,1	-	-

Таблица 30 - Нагрузка котла 50%Dн

Наименование величин	ШПП	ШВП	ПК	КПП	ПЗ
1	2	3	4	5	6
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	32x6	57x4	42x5	32x6	32x3,5
Шаги труб, S_1/S_2	663/38	408/61	-	109/93	101/44
- поперечный	663	408	-	109	101
- продольный	38	61	-	93	44
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;			-		
$\sigma_1 = S_1/d_H$	20,72	7,16	-	3,41	3,16
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,19	1,07	-	2,91	1,38
Число труб по ходу газа, Z,	54	48	-	12	16
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ			-		
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	-	-	-	107,8	67
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	-	-	-	108,58	100,09
$\psi = (S_1-d)/(S_2-d)$	105,17	87,75	-	-	-
Сечение для прохода газов, Fг, м ²	91	47	48,2	39	37,7
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0	0	0	0,042	0,042
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,7	1,7	1,7	1,742	1,784
Ср. коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ср}$	1,44	1,7	1,7	1,721	1,763
Температура газов перед газоходом, T'г, °C	832	767	706	681	629
Температура газов за газоходом, T''г, °C	767	706	690	638	522
Объем дымовых газов за газоходом Vг, нм ³ /кг	7,21	7,21	7,21	7,37	7,54
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс ² /м ⁴	0,034	0,037	0,037	0,039	0,045
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1 + r_{xr} = 1 + 0,015 = 1,015$				
Секундный расход газов за газоходом, Vc'', м ³ /с	313	294,7	289,9	280,3	249,9
Средняя температура газов в газоходе, T _{ср} , °C	799,5	736,5	698	659,5	575,5
Средний объем газов в газоходе, V_r^{cp} , нм ³ /кг	6,26	7,21	7,21	7,29	7,46
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс ² /м ⁴	0,033	0,035	0,037	0,038	0,042
Средний секундный расход газов в газоходе, V_c^{cp} , м ³ /с	280	303,9	292,3	283,8	263,9
Средняя скорость газов, Wг, м/с	3,6	6,5	5,5	7,4	7,1
Поправочный коэффициент K	1,2	1,2	-	1,2	1,2

Таблица 31 - Нагрузка котла 50%Dн

Наименование величин	КВП	ЭКО3	ЭКО2	ЭКО1	ТВП-3
	7	8	9	10	11
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	42x4	32x4	32x4	32x4	40x1,5
Шаги труб, S_1/S_2	128/56	78/40	78/40	78/40	66/42
- поперечный	128	78	78	78	66
-продольный	56	40	40	40	42
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;					
$\sigma_1 = S_1/d_H$	3,05	2,44	2,44	2,44	1,65
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,33	1,25	1,25	1,25	1,05
Число труб по ходу газа, Z,	32	20	20	20	49
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ					
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	85	55,9	55,9	55,9	53,4
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	127,02	76,66	76,66	76,66	63,02
$\phi = (S_1-d)/(S_2-d)$	-	-	-	-	-
Сечение для прохода газов, Fг, м2	37,1	30,9	30,9	30,9	16
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0,042	0,019	0,019	0,019	0,042
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,826	1,845	1,864	1,883	1,925
Ср. коэффициент избытка воздуха, $a_{ср}$	1,805	1,836	1,855	1,874	1,904
Температура газов перед газоходом, T'г, °C	515	448	363	304	258
Температура газов за газоходом, T''г, °C	453	363	304	261	222
Объем дымовых газов за газоходом Vг, нм3/кг	7,7	7,77	7,84	7,91	8,07
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс ² /м ⁴ /	0,049	0,056	0,062	0,067	0,072
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1 + r_{xr} = 1 + 0,015 = 1,015$				
Секундный расход газов за газоходом, Vc'', м ³ /с	233,1	166,7	152,7	142,6	134,9
Средняя температура газов в газоходе, T ср, °C	484	405,5	333,5	282,5	240
Средний объем газов в газоходе, Vг ^{ср} , нм3/кг	7,62	7,73	7,8	7,88	7,99
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс ² /м ⁴ /	0,047	0,053	0,059	0,065	0,070
Средний секундный расход газов в газоходе, Vг ^{ср} , м ³ /с	240,5	177	159,7	147,7	138,4
Средняя скорость газов, Wг, м/с	6,6	5,7	5,1	4,7	8,5
Поправочный коэффициент K	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1

Таблица 32 - Нагрузка котла 50%Dн

Наименование величин	ТВП-2	ТВП-1	БЦУ	ДС-ДТ
	12	13	14	15
Сортамент труб $D_H \times S$, мм	40x1,5	40x1,5	-	-
Шаги труб, S_1/S_2	66/42	66/42	-	-
- поперечный	66	66	-	-
- продольный	42	42	-	-
Относительные шаги σ_1 и σ_2 ;			-	-
$\sigma_1 = S_1/d_H$	1,65	1,65	-	-
$\sigma_2 = S_2/d_H$	1,05	1,05	-	-
Число труб по ходу газа, Z,	49	49	-	-
Коэффициент, учитывающий форму пучка, φ, ψ			-	-
$S_2' = \sqrt{1/4 \times S_1^2 + S_2^2}$	53,4	53,4	-	-
$\phi = (S_1-d)/(S_2'-d)$	63,02	63,02	-	-
$\phi = (S_1-d)/(S_2-d)$	-	-	-	-
Сечение для прохода газов, F_g , м ²	16	16	-	-
Присос воздуха по тракту, $\Delta\alpha$	0,042	0,042	0,05	-
Коэффициент избытка воздуха за газоходом, α''	1,967	2,009	2,074	2,085
Ср. коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ср}$	1,946	1,988	2,049	-
Температура газов перед газоходом, $T''_г$, °C	222	179	129	126
Температура газов за газоходом, $T''_г$, °C	179	130	127	126
Объем дымовых газов за газоходом V_g , нм ³ /кг	8,23	8,39	8,64	8,69
Плотность дымовых газов за газоходом, ρ'' , кгс ² /м ⁴	0,079	0,089	0,089	0,090
Относительный расход газов рециркуляции, r_{rr}, r_{xr}	$1 + r_{xr} = 1 + 0,015 = 1,015$			
Секундный расход газов за газоходом, V_c'' , м ³ /с	125,6	114,2	116,6	115,3
Средняя температура газов в газоходе, $T_{ср}$, °C	200,5	154,5	128,1	126,4
Средний объем газов в газоходе, V_g^{cp} , нм ³ /кг	8,15	8,31	8,55	8,69
Средняя плотность газов в газоходе, $r_{ср}$, кгс ² /м ⁴	0,076	0,084	0,089	0,090
Средний секундный расход газов в газоходе, V_c^{cp} , м ³ /с	130,3	119,9	115,7	115,3
Средняя скорость газов, W_g , м/с	8	7,4	-	-
Поправочный коэффициент К	1,1	1,1	-	-

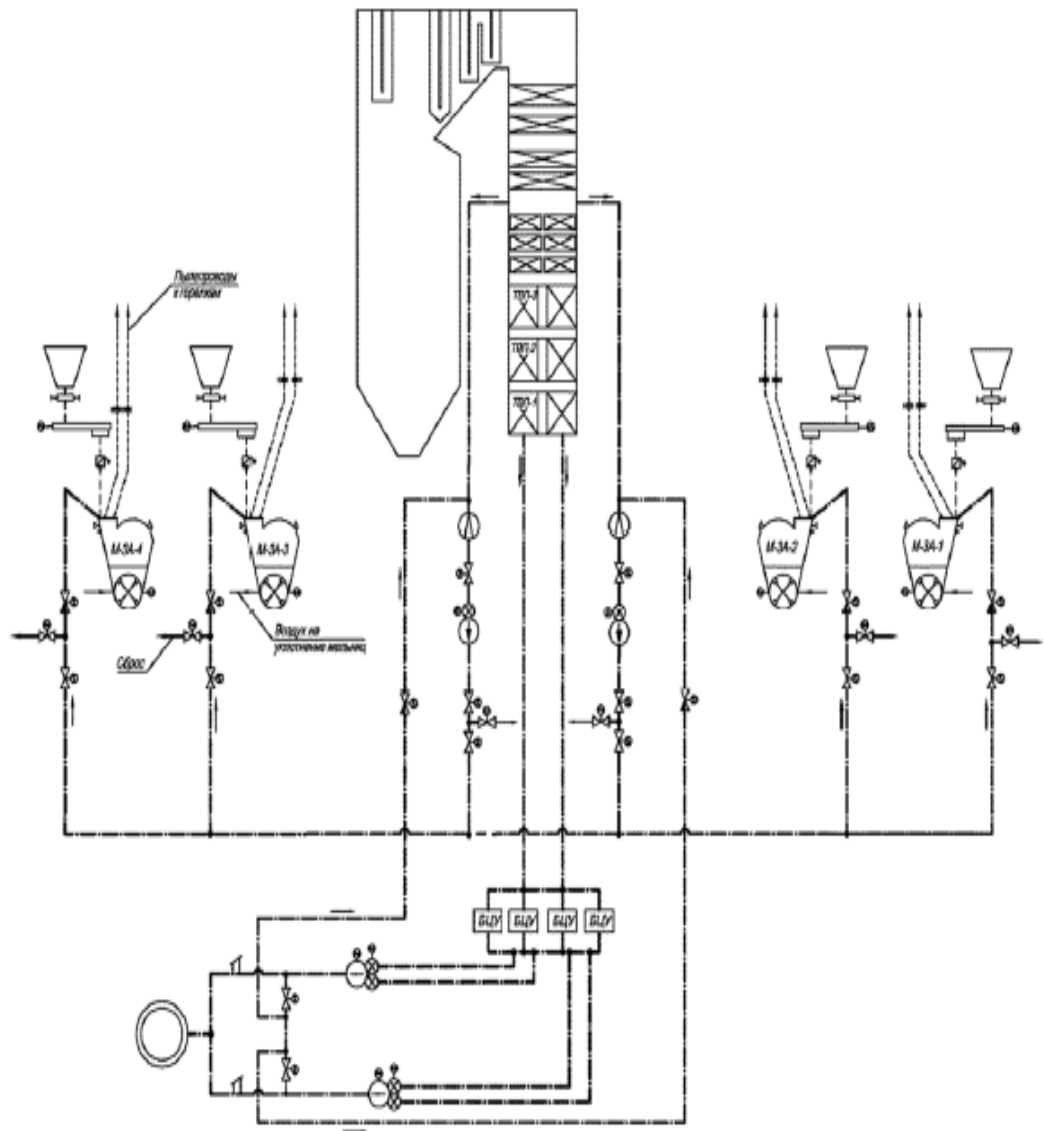
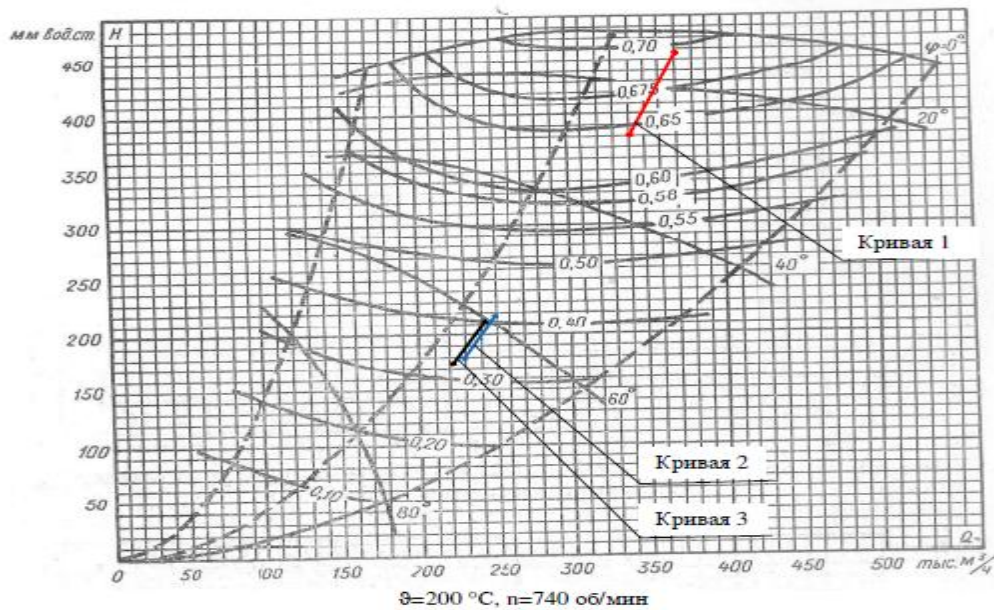


Рисунок 37 - Расчётная схема газового тракта котла

Таблица 33 - Результаты расчета. Газовый тракт

№	Наименование, размерность	Dк=100%Dн	Dк=70%Dн	Dк=50%Dн
Сопротивление тракта по участкам.				
1	Сопротивление котла от выхода из топки до точки отбора газов на рециркуляцию (до ЭКО), мм вод.ст.	71,0	52,2	47,9
2	Сопротивление ЭКО, мм вод.ст.	51,2	22,9	24,9
3	Сопротивление ТВП, мм вод.ст.	56,0	28,8	28,9
4	Сопротивление тракта от ТВП до БЦУ, мм вод.ст.	30	14,4	14,4
5	Сопротивление БЦУ, мм вод.ст.	98,5	47,6	46,7
6	Сопротивление тракта от БЦУ до ДС, мм вод.ст.	13,8	6,7	6,5
7	Сопротивление тракта от ДС до дымовой трубы, мм вод.ст.	40,9	21,0	20,7
8	Дымовая труба, мм вод.ст.	39,4	20,3	20
9	Суммарное сопротивление газового тракта, мм вод.ст.	400,8	213,9	210
10	Самотяга конвективной шахты мм вод.ст.	-21,7	-20,9	-20,2
11	Самотяга от ТВП до БЦУ, мм вод.ст.	3,2	3,0	2,8
12	Самотяга от БЦУ до ДС, мм вод.ст.	-2,8	-2,7	-2,5
13	Самотяга дымовой трубы, мм вод.ст.	44,5	41,2	39,8
14	Перепад полных давлений по тракту с учетом самотяги и запылённости дымовых газов, мм вод.ст.	397,8	199,2	195,2
Параметры основного дымососа.				
1	Часовая производительность, м ³ /ч	336,7×10 ³	228,2 ×10 ³	223×10 ³
2	Расчетная производительность с запасом 10%, м ³ //ч	370,4×10 ³	251×10 ³	245,8×10 ³
3	Перепад полных давлений в тракте, мм вод.ст.	397,8	199,2	195,2
4	Расчетное полное давление с запасом 20%, мм вод.ст	477,4	239,1	234,3
5	Коэффициент приведения к условиям, для которых составлена характеристика	0,952	0,907	0,895
6	Приведённый перепад полных давлений к условиям характеристики машины, мм вод.ст.	378,7	180,7	174,7
7	Расчетное полное давление, приведенное к условиям характеристики машины, мм вод.ст	454,4	216,8	209,7
8	Температура газов перед дымососом, °С	144,1	131	126
9	Количество машин в работе, шт.	2	2	2
10	Число оборотов машины, об/мин	740	740	740
11	Потребляемая мощность электродвигателя в рабочей точке, кВт	686	400	402



Кривая 1 – работа котла 100%Dн, в работе 2 дымососа
 Кривая 2 – работа котла 70%Dн, в работе 2 дымососа
 Кривая 3 – работа котла 50%Dн, в работе 2 дымососа

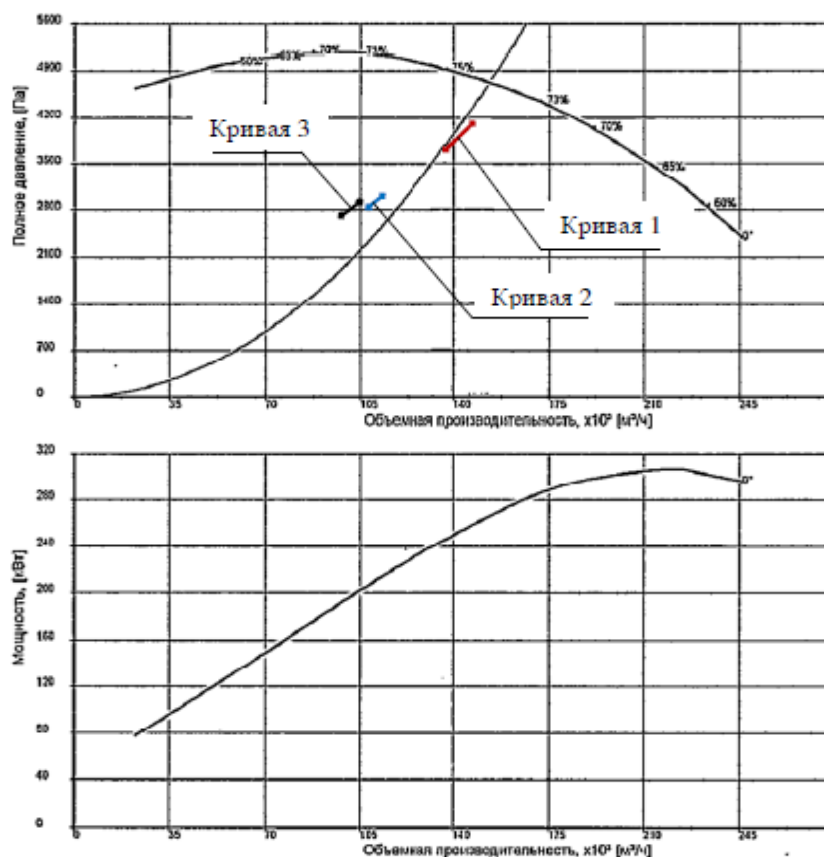
Рисунок 38 - Аэродинамическая характеристика дымососа по типу Д-21,5х2у

Таблица 34 - Исходные данные к расчётам тракта рециркуляции газов

№ п/п	Наименование	Размерность	Dк=100%Dн	Dк=70%Dн	Dк=50%Dн
1	Доля рециркуляции	-	0,22	0,27	0,24
2	Секундный расход газов на рециркуляцию, V_c^{rec} , м³//с	м3/с	63,2	50,1	45,0
3	Температура горячих газов рециркуляции в месте отбора	°C	508	462	454

Таблица 35 - Расчет тракта рециркуляции дымовых газов.

№ п/п	Наименование, размерность	Dк=100%Dн	Dк=70%Dн	Dк=50%Dн
1	Сопротивление участка от забора газов из КШ до присадки холодной газовой рециркуляции, мм вод ст	14,3	9,5	7,8
2	Сопротивление участка от точки смешения до ДРГ, мм вод ст	38,98	22	17,6
3	Сопротивление участка от ДРГ до мельницы (ШМТ), мм вод ст	45,4	25,6	20,5
4	Сопротивление мельницы мм вод ст	68	64	55
5	Сопротивление участка пылепроводов от сепаратора ШМТ до горелок мм вод ст	68	65,2	53,2
6	Сопротивление вихревой горелки по аэросмеси, мм вод ст	37,7	36,1	29,5
7	Сопротивление напорного тракта, мм вст	219,1	190,9	158,2
8	Суммарное сопротивление тракта рециркуляции, мм вод ст	272,38	222,4	183,6
9	Потери напора на подъём топлива, мм вод.ст.	-2,7	-2,6	-2,5
10	Разрежение в топке на уровне горелок 2-ого яруса, мм вод ст	-17,8	-17,8	-17,8
11	Суммарная самотяга тракта рециркуляции, мм вод ст	-4,8	-2,4	-2,2
12	Разрежение в точке забора газов на сушку из КШ, мм вод ст	-86,8	-66,3	-61,5
13	Эффективное давление, мм рт ст	735	735,8	736
Параметры дымососа рециркуляции дымовых газов				
1	Часовая производительность, м ³ //ч	129,1×10 ³	96,7×10 ³	86,8×10 ³
2	Расчетная производительность с запасом 5%, м ³ //ч	135,6×10 ³	101,5×10 ³	91,1×10 ³
3	Перепад полных давлений в тракте, мм вод.ст.	358,5	276,4	268,4
4	Расчетное полное давление с запасом 10%, мм вод.ст	394,35	304	295,2
5	Коэффициент приведения к условиям, для которых составлена характеристика	1,03	1,03	1,03
6	Приведённый перепад полных давлений, мм вод.ст.	369,3	284,7	277,2
7	Расчетное полное давление, приведенное к условиям характеристики машины, мм вод.ст	406,2	313	304,9
8	Температура среды перед ДРГ, °С	435	428	434
9	Количество машин в работе, шт.	2	2	2
10	Число оборотов машины, об/мин	990	990	990
11	Потребляемая мощность электродвигателя в рабочей точке, кВт	220	200	180



$\vartheta=435 \text{ }^\circ\text{C}$, $n=990 \text{ об/мин}$

Кривая 1 – нагрузка котла 100%Дн, в работе 2 дымососа рециркуляции газов
 Кривая 2 – нагрузка котла 70% Дн, в работе 2 дымососа рециркуляции газов
 Кривая 3 – нагрузка котла 50% Дн, в работе 2 дымососа рециркуляции газов

Рисунок 39 - Аэродинамическая характеристика дымососа рециркуляции

Выводы:

Анализ результатов аэродинамических расчетов показал:

Выбранные в процессе реконструкции конструктивные решения по пылегазовоздушным трассам котельной установки и соответствующее им оборудование обеспечивает работу тягодутьевых машин с нормативными запасами по производительности и напору на всех режимах работы котла на пониженных нагрузках (70%Дн и 50%Дн) работа ТДМ осуществляется при низких КПД, что приводит к неэкономичной работе тягодутьевых машин. В этом случае предлагаем рассмотреть:

- для вентилятора ВДН-24 при понижении нагрузки котла для более эффективной работы машины перейти на один вентилятор;
- для основного дымососа при понижении нагрузки котла определить оптимальный режим работы КУ на двух дымососах путём возможного дросселирования потока газов перед ДС.

10 Математическое моделирование топочных процессов

Для проверки принятых технических решений произведено моделирование топочного процесса в котле ПК-38 после технического перевооружения в специализированном программном комплексе ANSYS Fluent.

Разработанная геометрическая модель, представлена на рисунке 40.

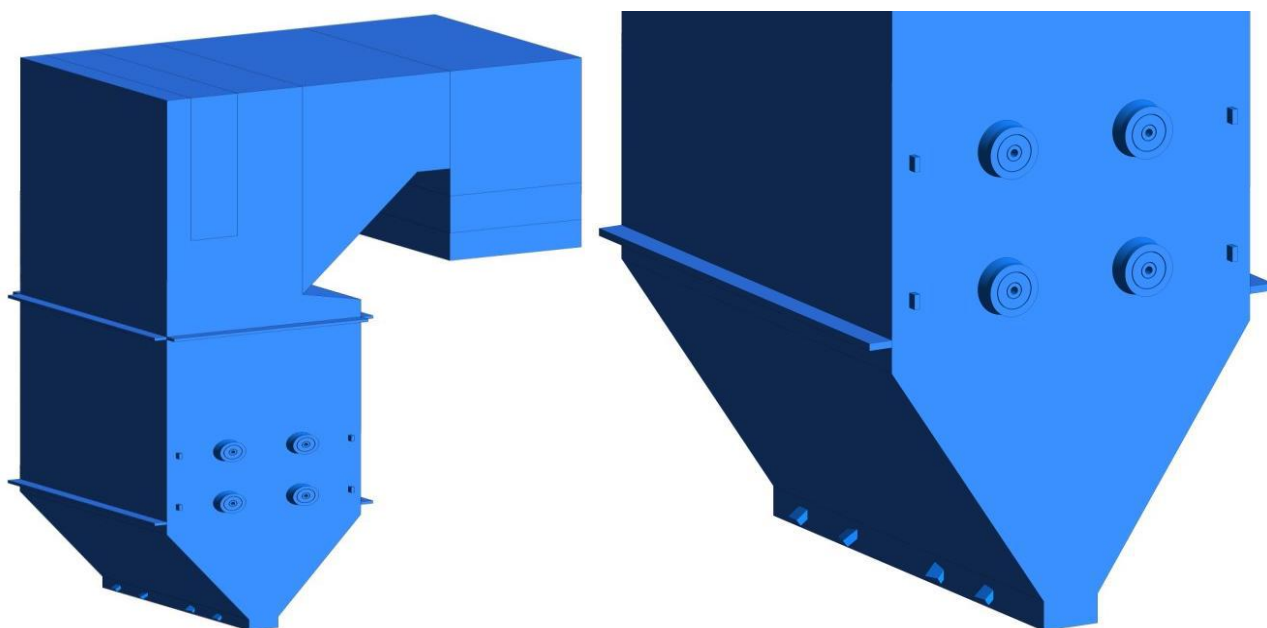


Рисунок 40 - Общий вид расчетной модели топочной камеры котла ПК-38

Расчетная сетка представлена на рисунке 41. Для более корректного расчета параметров в области больших градиентов концентраций реагентов и скоростей (зона смешения и интенсивного горения) расчетная сетка утащена путем увеличения количества конечных элементов - ячеек.

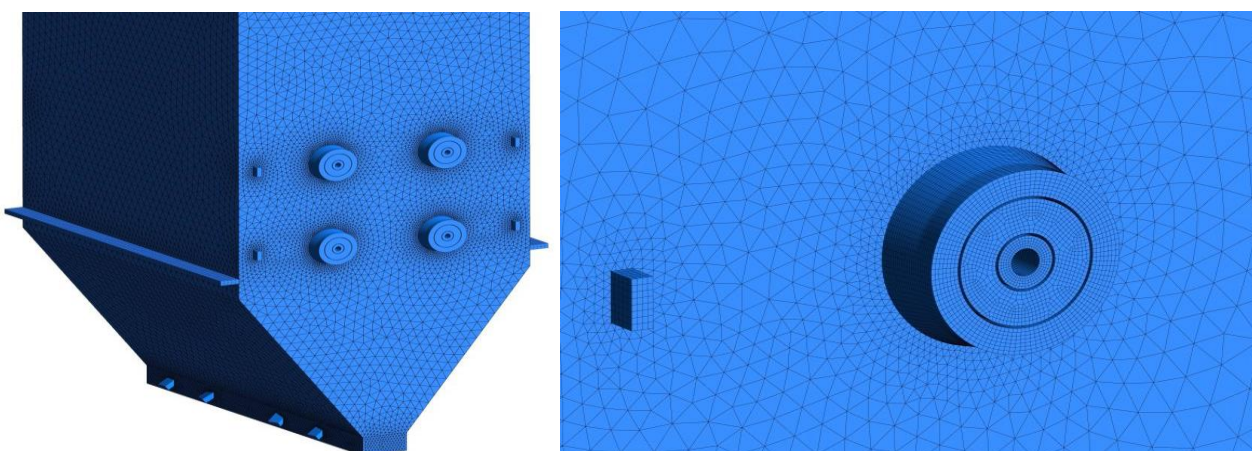


Рисунок 41 - Расчетная сетка

Объем ширмовых и конвективных поверхностей в математической модели (рисунок 42) задается как пористая среда с большими коэффициентами сопротивления в направлении координаты X для ширм (в направлении координаты Y и Z сопротивление пористой среды отсутствует) и в направлениях X и Y для конвективных пакетов (коэффициент сопротивления по оси Z принят из аэродинамического расчета).

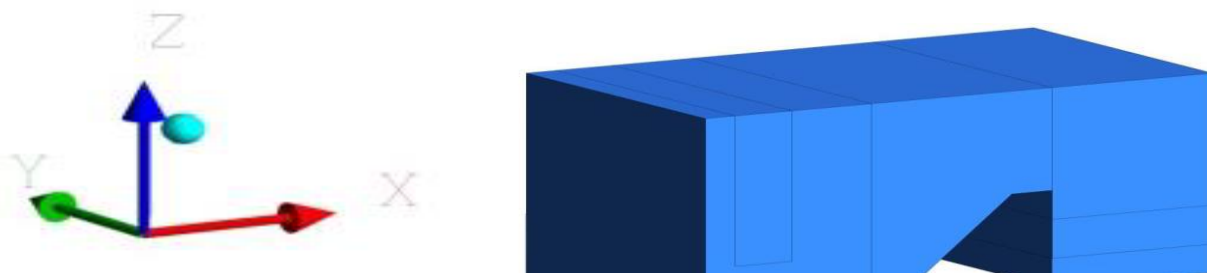


Рисунок 42 - Объем ширмовых и конвективных поверхностей в модели

Внутри данных пакетов задан постоянный объемный коэффициент теплоемкости, который обеспечивает снижение температуры газового потока при прохождении через поверхность на величину, определенную из теплового расчета котла. В расчетную модель введены следующие упрощения:

- присос воздуха в топку осуществлялся через холодную воронку и щели размещенные в местах сочленения холодной воронки и НРЧ, НРЧ и СРЧ.

- теплопередача от стенки топки к нагреваемой среде задана исходя из принятой эффективности экранов $\psi=0,35$;

- ПГВС и воздух подается равномерно по сечениям соответствующих каналов;

- диапазон изменения диаметров в распределении частиц топлива по фракциям устанавливается от 10 до 1172 микрон, количество фракций

- 30, коэффициент полидисперсности – 1,06.

В расчетной области заданы начальные и граничные условия.

При моделировании конкретной угольной частицы весь процесс разбивается на следующие стадии:

- прогрев частицы до начала испарения влаги из топлива (стадия определяется температурой начала испарения);

- испарение влаги из топлива (стадия протекает при определенной постоянной температуре частицы, пока не испарится вся влага);

- выход летучих;

- горение коксового остатка;

- прогрев/охлаждение золового остатка до выхода частицы из расчетной области (определяется теплоемкостью золовой частицы).

В тепловом балансе угольной частицы учитываются теплота испарения влаги, передача тепла теплопроводностью и конвекцией, лучистый теплообмен и теплота сгорания коксового остатка. Температура частицы считается одинаковой внутри частицы, но отличающейся от температуры окружающей

газовой среды. Источники дискретной фазы в виде частиц твердого топлива определяются как инжекторы. Для данной математической модели принимается, что инжекторы – входные сечения каналов аэросмеси, с поверхности которых испускаются частицы твердого топлива. Для каждого инжектора определяется соответствующая поверхность, компоненты входной скорости для частиц, расход топлива через каждую инжекционную поверхность, содержание влаги. Фракционный состав в топливе описывается распределением Розина -Раммлера, в котором характерный размер твердых частиц определяется тонной помола топлива (R90) и коэффициентом полидисперсности. Летучие, выделяющиеся из топлива, полагаются неким обобщенным углеводородом вида $C_nH_mO_pN_q$, состав и энерговыделение которого рассчитываются на основе характеристик заданного топлива. Также из элементарного состава топлива определяются молекулярный вес летучих и стехиометрические коэффициенты реакции горения летучих, которые также являются исходными данными для моделирования горения твердого топлива.

Для моделирования процессов горения коксового остатка используется диффузионно-кинетическая модель. При моделировании лучистого теплообмена использована P-1 модель. Влияние турбулентности потока на движение частицы производится путем применения стандартной $k-\epsilon$ модели турбулентности. Моделирование образования окислов азота при сжигании угля описывается тремя механизмами:

Термические оксиды азота образуются в результате реакции атмосферного азота с кислородом при повышенных температурах (свыше 1500°C) и описываются по механизму, предложенному Зельдовичем.

Быстрые NOX образуются в присутствии углеводородных радикалов.

Они преобладают в топливах с высоким значением молекулярного отношения водорода к углероду H:C и не играют определяющей роли в процессе сжигания, хотя общая схема комплекса реакций включает механизм их образования. Механизм быстрого образования NOX был предложен Фенимором (Fenimore C.P., 1979).

Топливные NOX – результат взаимодействия кислорода с азотом топлива. Топливный азот в газовой фазе находится в виде NCH или NH3 и преобразуется в результате комплекса реакций при горении в NO или N2. Присутствие свободного кислорода способствует образованию NO. Для минимизации выхода топливных NO уголь должен освобождаться от летучих при максимально возможной температуре в зоне обогащенной топливом, где преобладают реакции с образованием N2 по отношению к NO.

Принципиальная схема реакций прогнозирования NOx с учетом процессов восстановления (reburning) приведена на рисунке 43

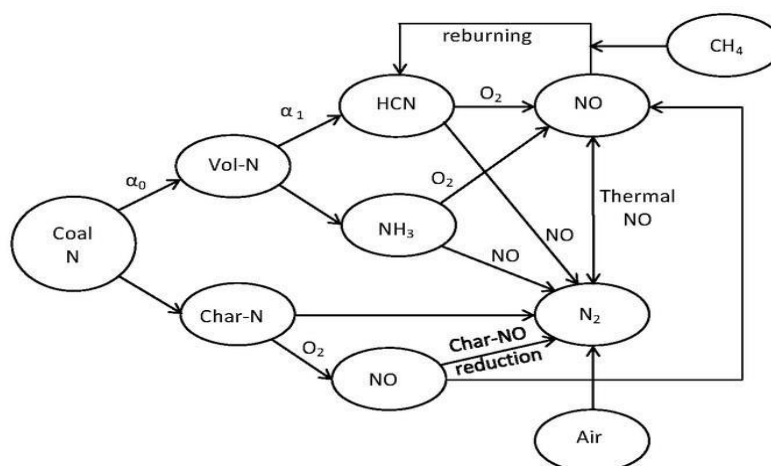


Рисунок 43 - Принципиальная схема реакций прогнозирования NOx с учетом восстановления

10.1 Результаты математического моделирования топочных процессов в топке котла

За основной вариант работы котла принят 4-х мельничный режим. Расход топлива на котёл составляет $V_p=61,636$ т/ч, температура пылегазовоздушной смеси – 84°C , температура горячего воздуха – 231°C . Тонкость помола пыли для расчета принималась на уровне $R_{90}=60\%$, $R_{200}=30,4\%$.

Основные интегральные показатели представлены в таблице 36.

Результаты моделирования в виде графиков средних температур, концентрации O_2 по высоте топки приведены на рисунках 44 - 45.

Результаты моделирования топочных процессов в виде полей температур, скоростей, объемных долей O_2 , концентраций дискретной фазы, концентраций NO_x приведены на рис.(46 - 62)

Таблица 36- Интегральные показатели на 100%Dном.

Вариант расчета	$T''_T, ^\circ\text{C}$ (отметка $Z=22,5$ м / выход из топки)	$\text{NO}_x, \text{мг/м}^3$
D=100%, $Z_M=4$	1043 / 963	≤ 350

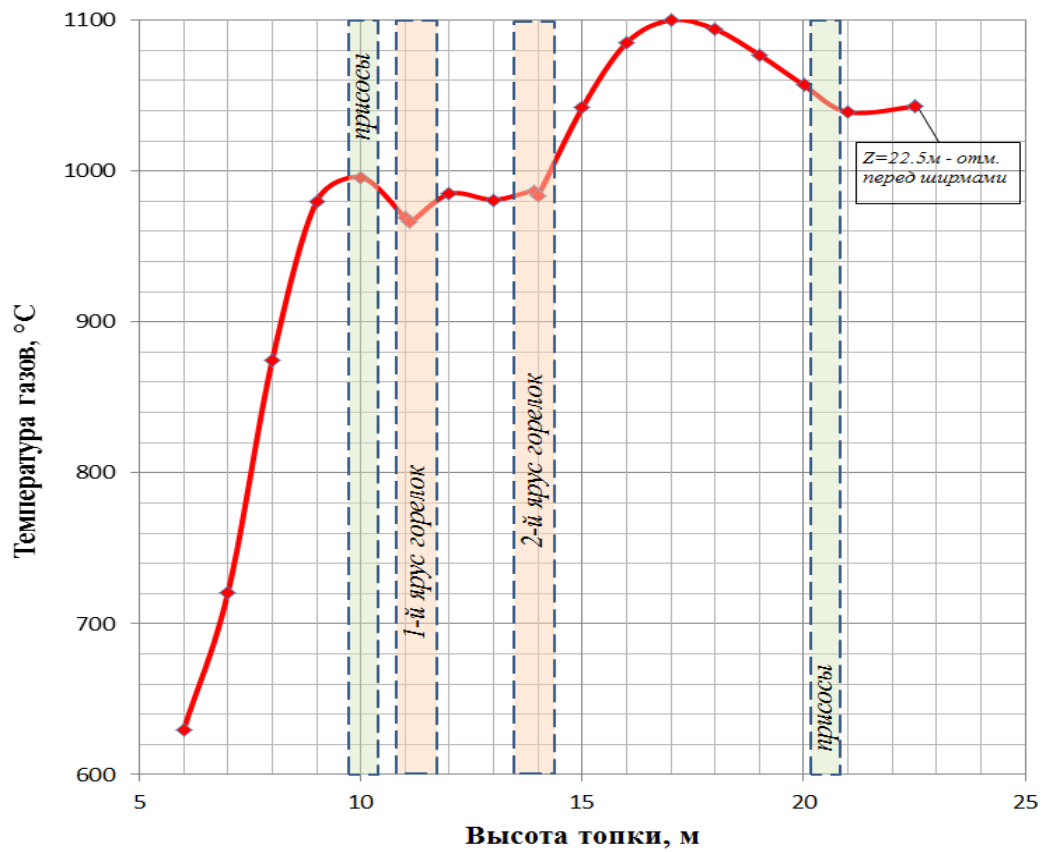


Рисунок 44 - График средних по сечению температур по высоте топочной камеры, °C

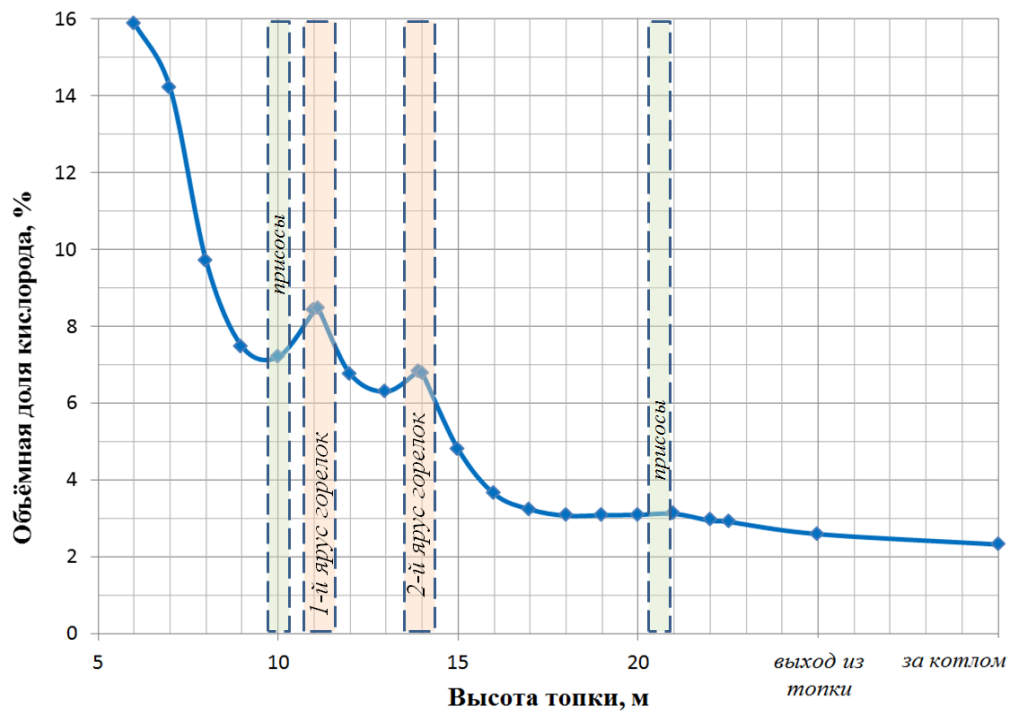


Рисунок 45 - Объёмная доля кислорода по высоте топочной камеры

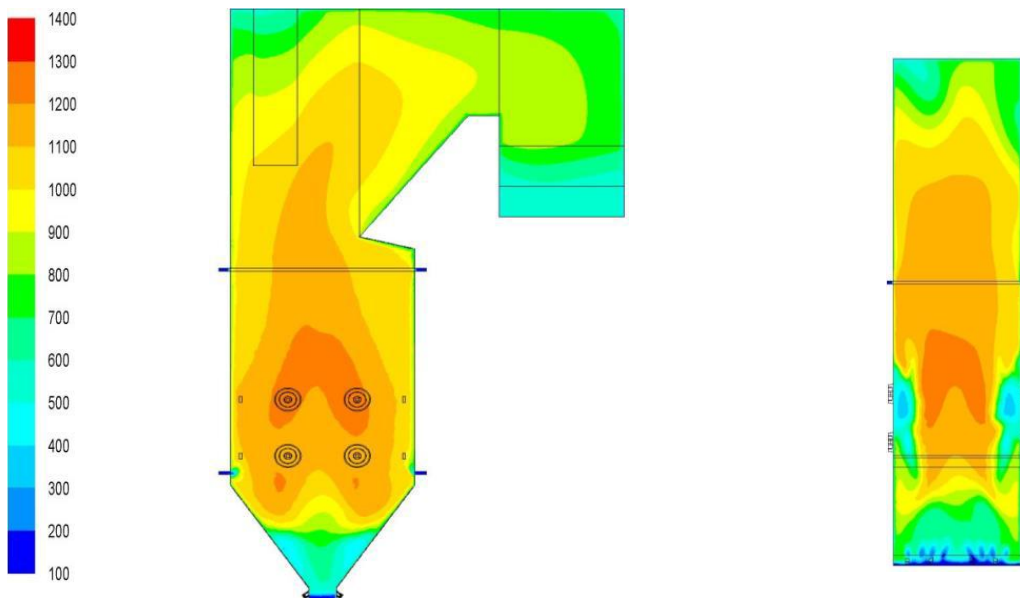


Рисунок 46 - Поля температур в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры, °С

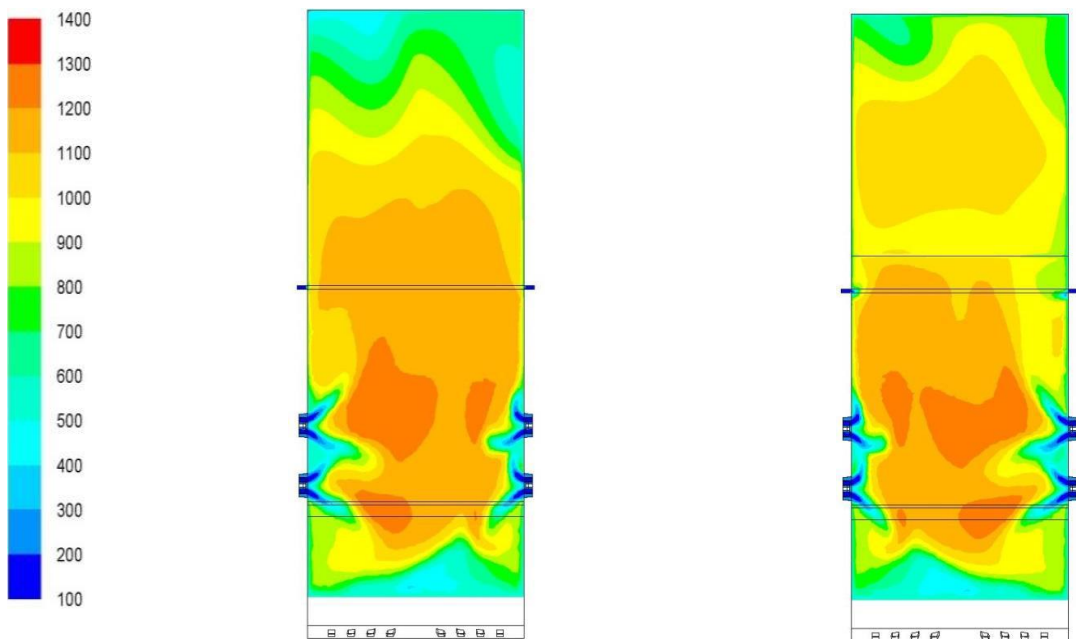


Рисунок 47 - Поля температур в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, °С

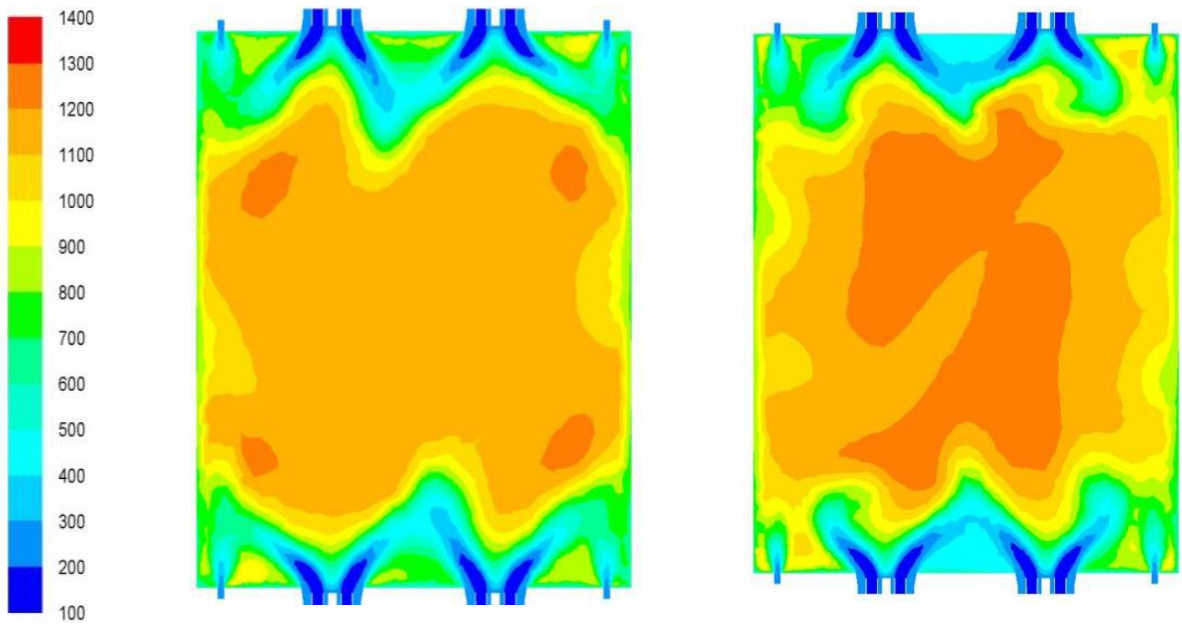


Рисунок 48 - Поля температур на уровне 1-го ($Z=11,11$ м) и 2-го ($Z=13,9$ м) ярусов горелок, °С

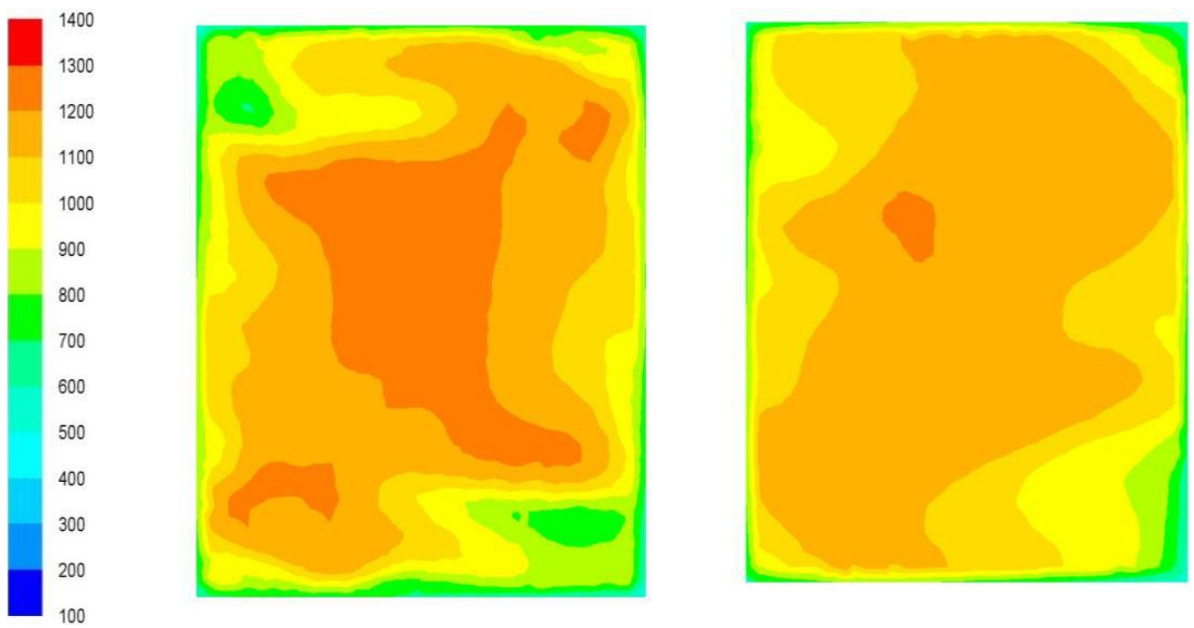


Рисунок 49 - Поля температур на уровне отметок $Z=16$ м и $Z=18$ м, °С

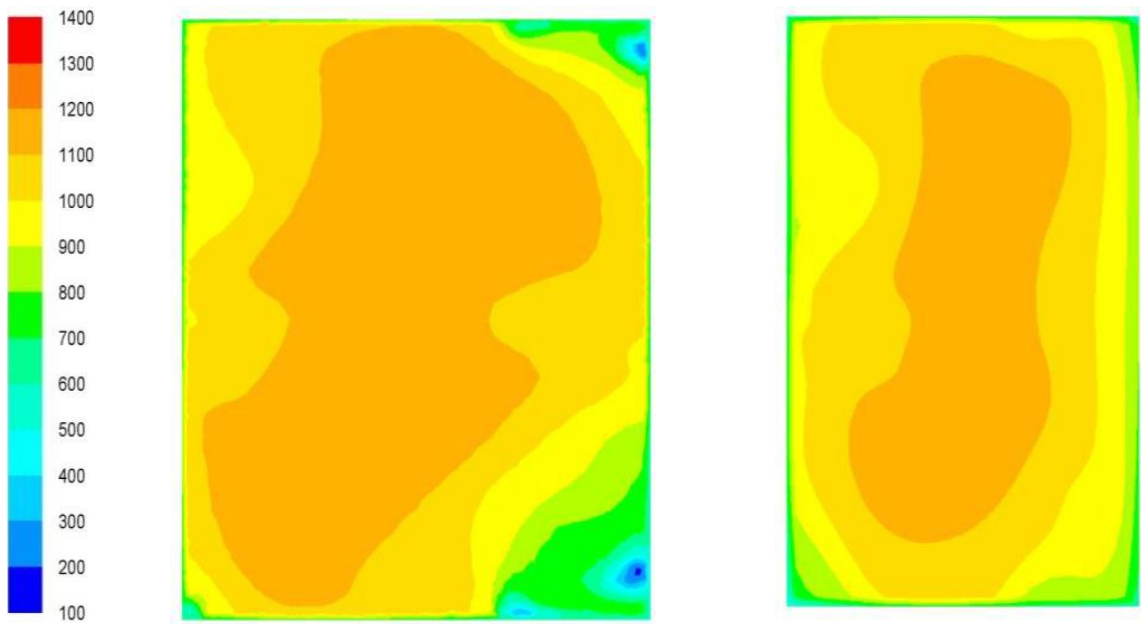


Рисунок 50 - Поля температур на уровне отметок $Z=20$ м и $Z=22,5$ м, °С

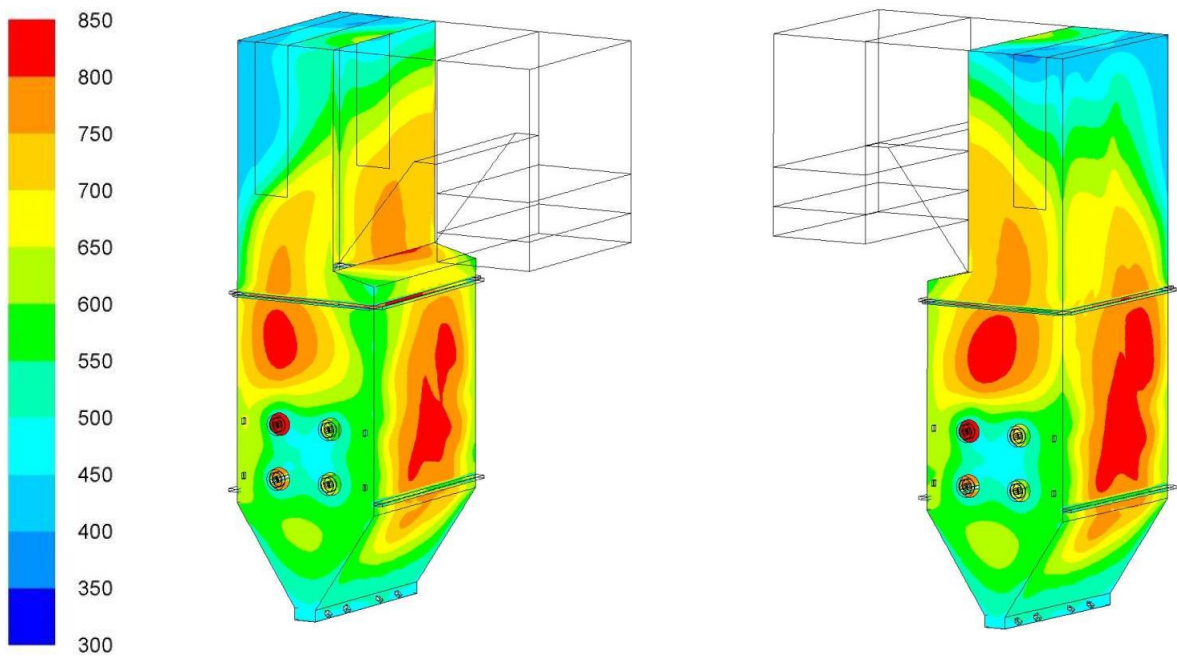


Рисунок 51 - Поля температур на стенах топочной камеры, °С

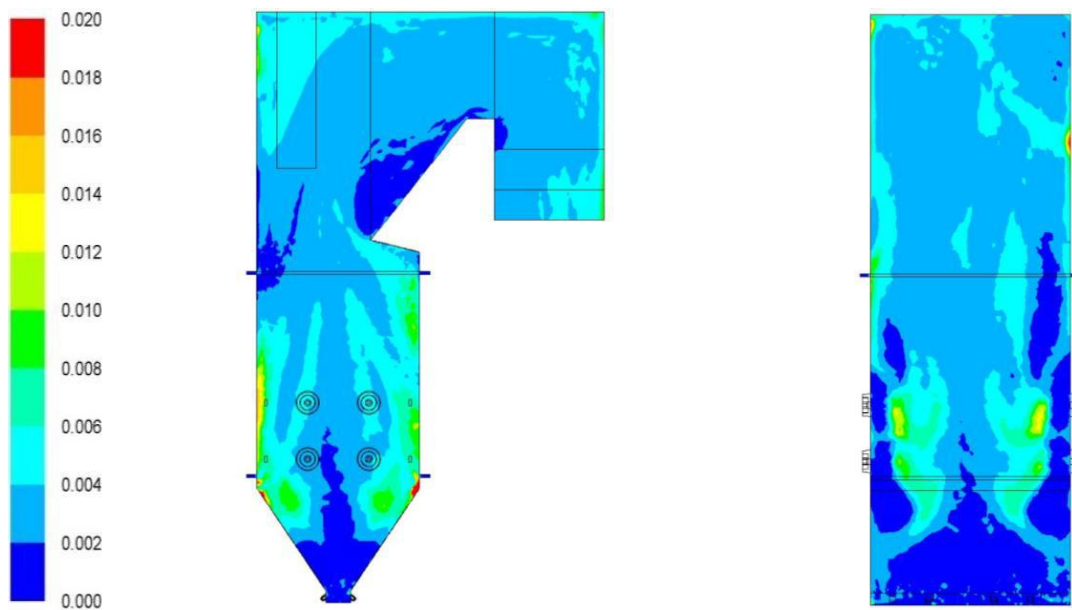


Рисунок 52 - Концентрация ДФ в продольном и поперечном сечениях топочной камеры, кг/м³

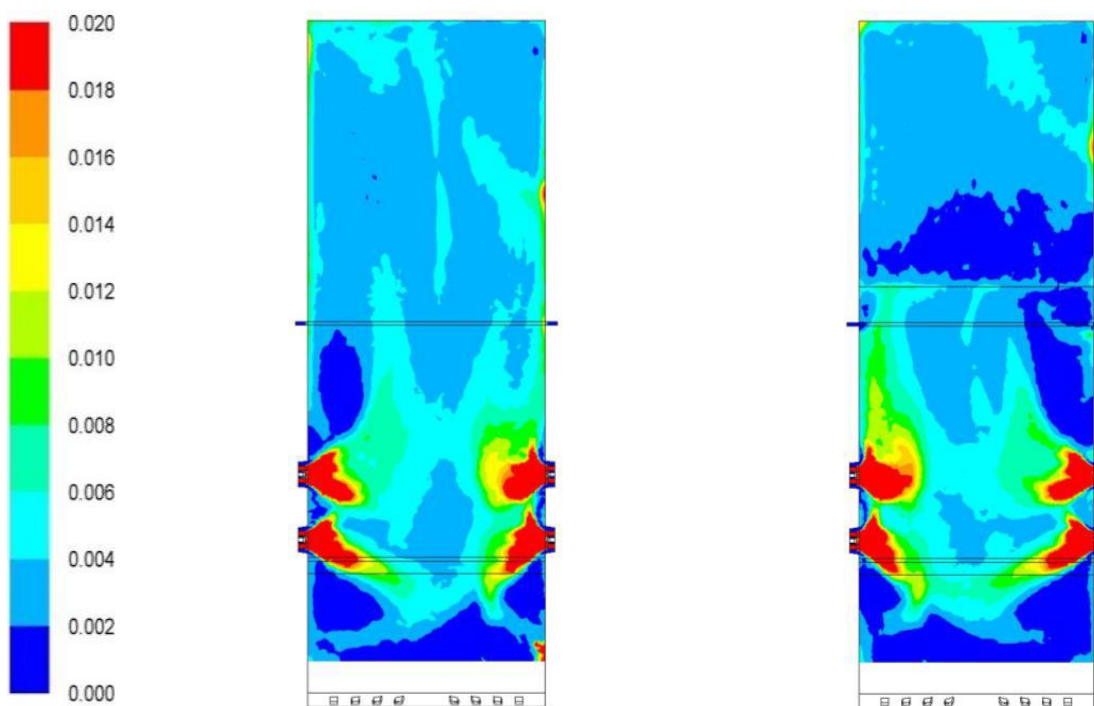


Рисунок 53 - Концентрация ДФ в вертикальных сечениях по осям горелок, кг/м³

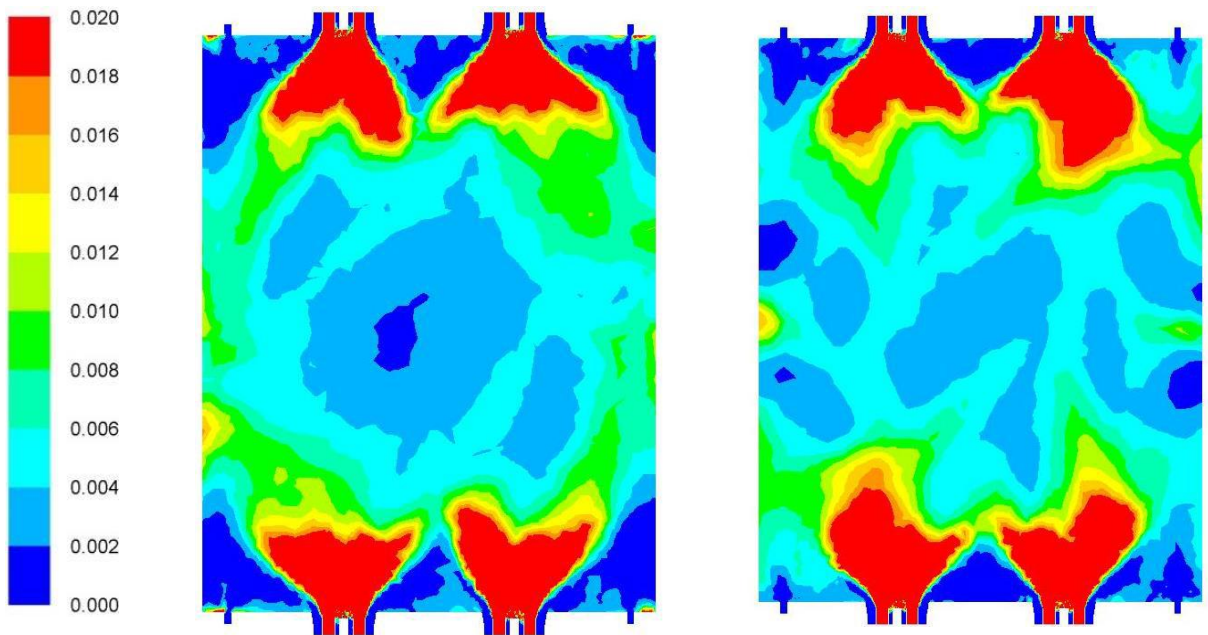


Рисунок 54 - Концентрация ДФ на уровне 1-го ($Z=11,11$ м) и 2-го ($Z=13,9$ м) ярусов горелок, кг/м^3

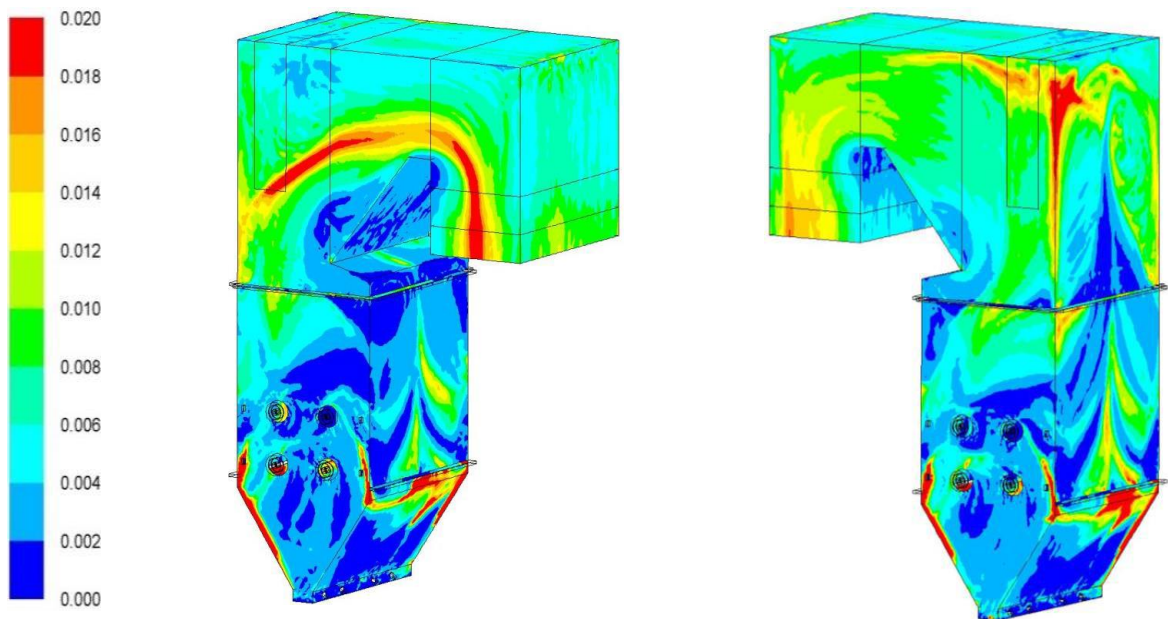


Рисунок 55 - Концентрация дискретной фазы на стенах топочной камеры, кг/м^3

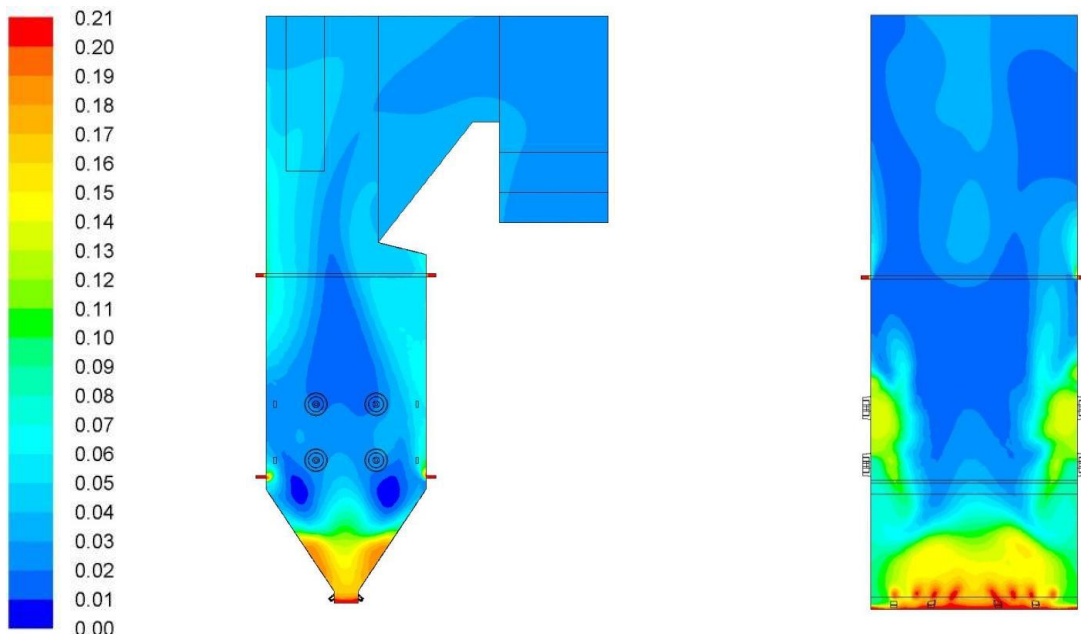


Рисунок 56 - Объёмная доля кислорода в продольном и поперечном сечениях топочной камеры

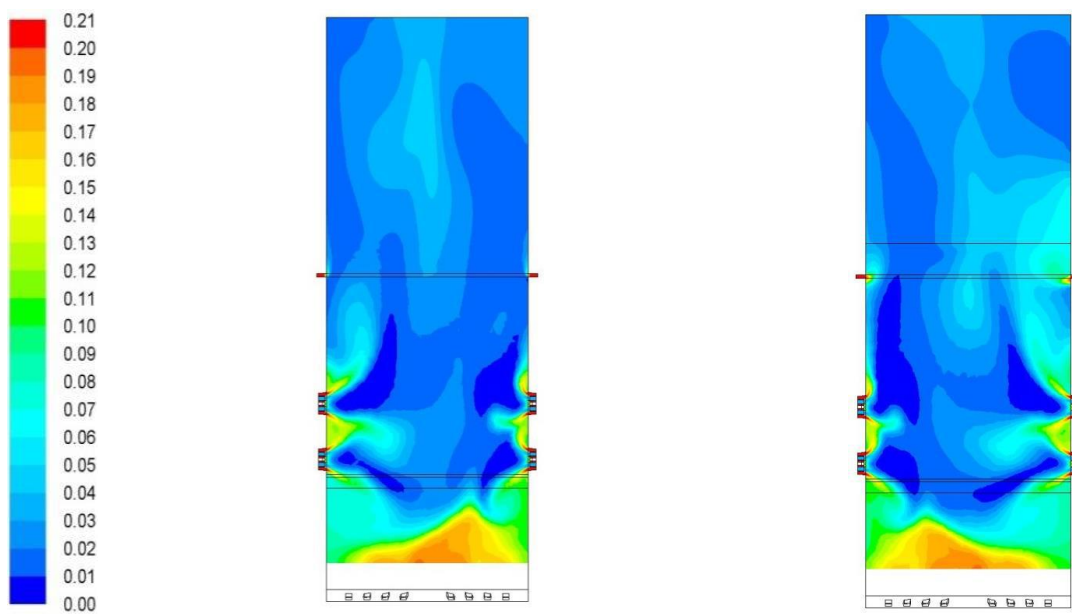


Рисунок 57 - Объёмная доля кислорода в вертикальных сечениях по осям горелок

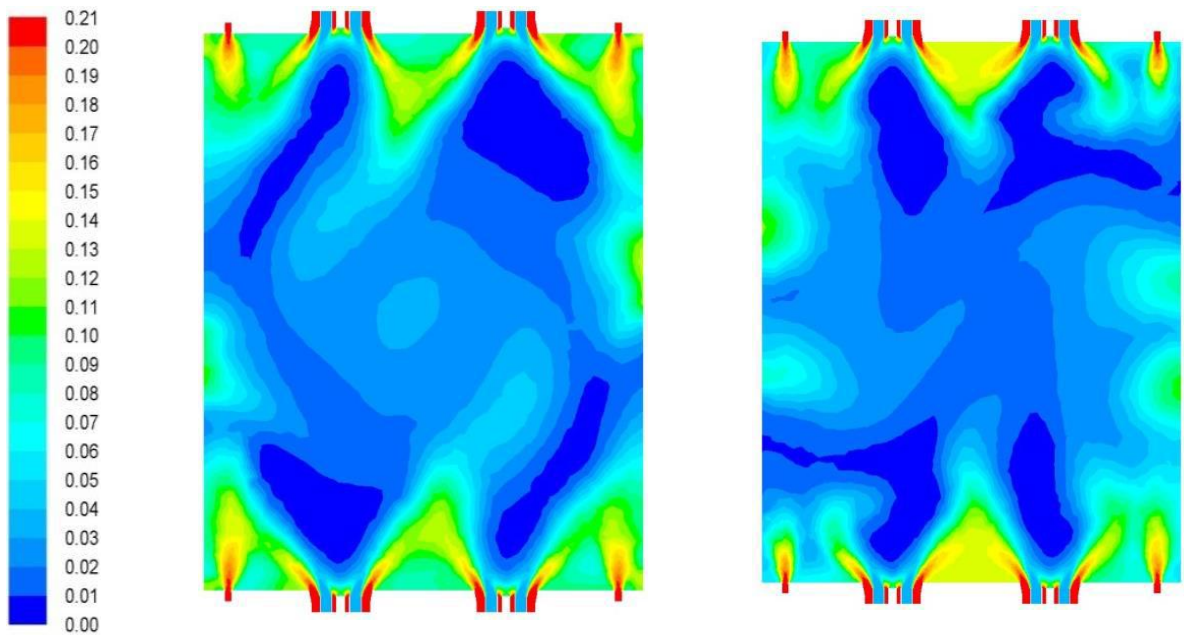


Рисунок 58 - Объёмная доля кислорода на уровне 1-го ($Z=11,11$ м) и 2-го ($Z=13,9$ м) ярусов горелок

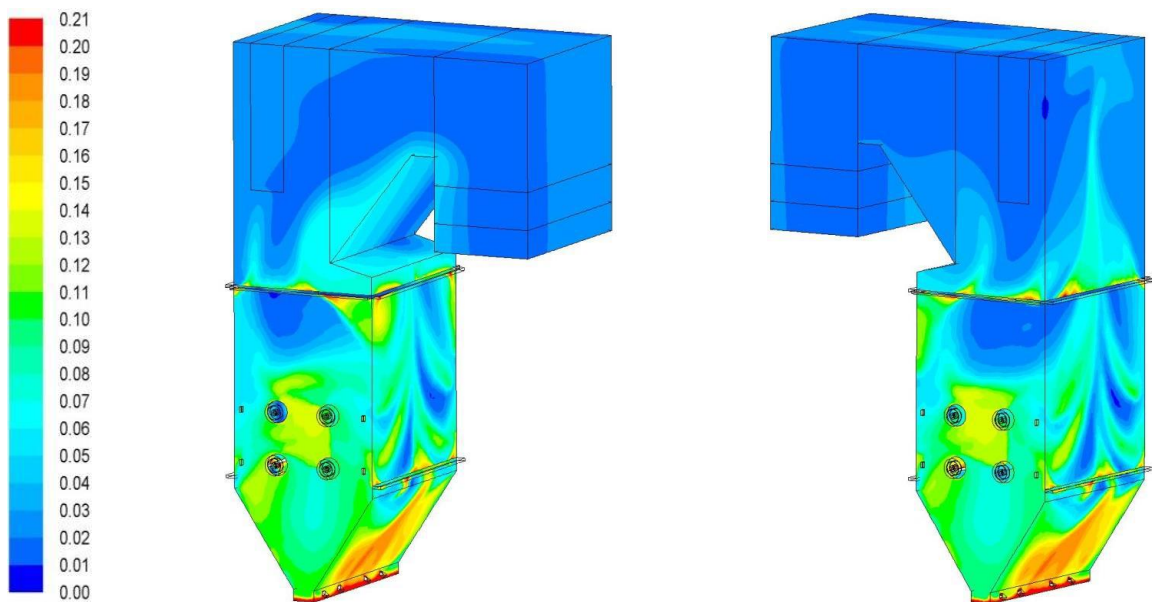


Рисунок 59 - Объёмная доля кислорода на стенах топочной камеры

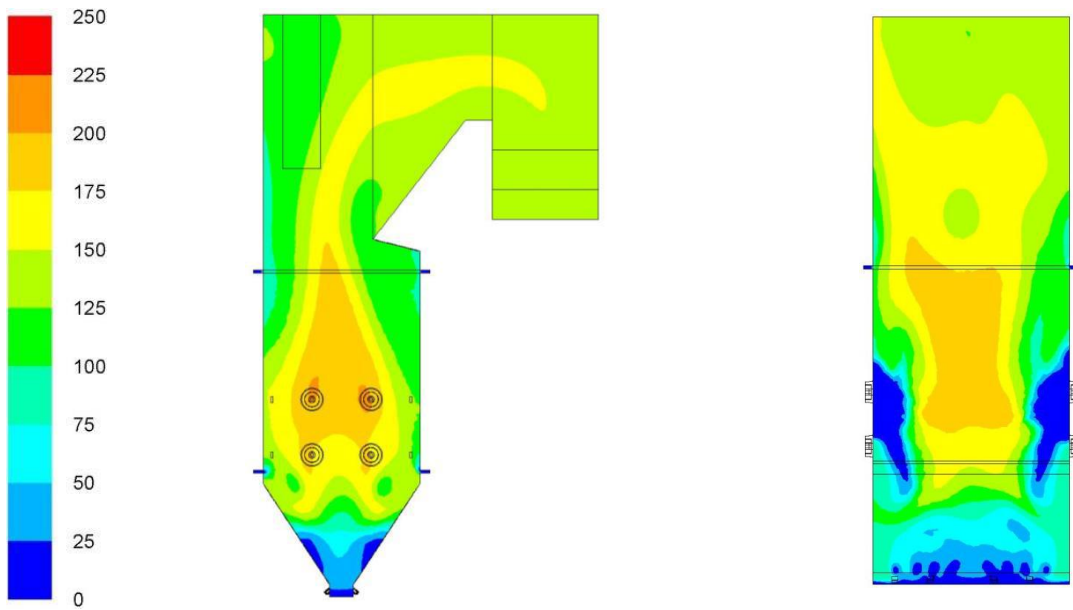


Рисунок 60 - Концентрация NOx в продольном сечении топочной камеры, ppm

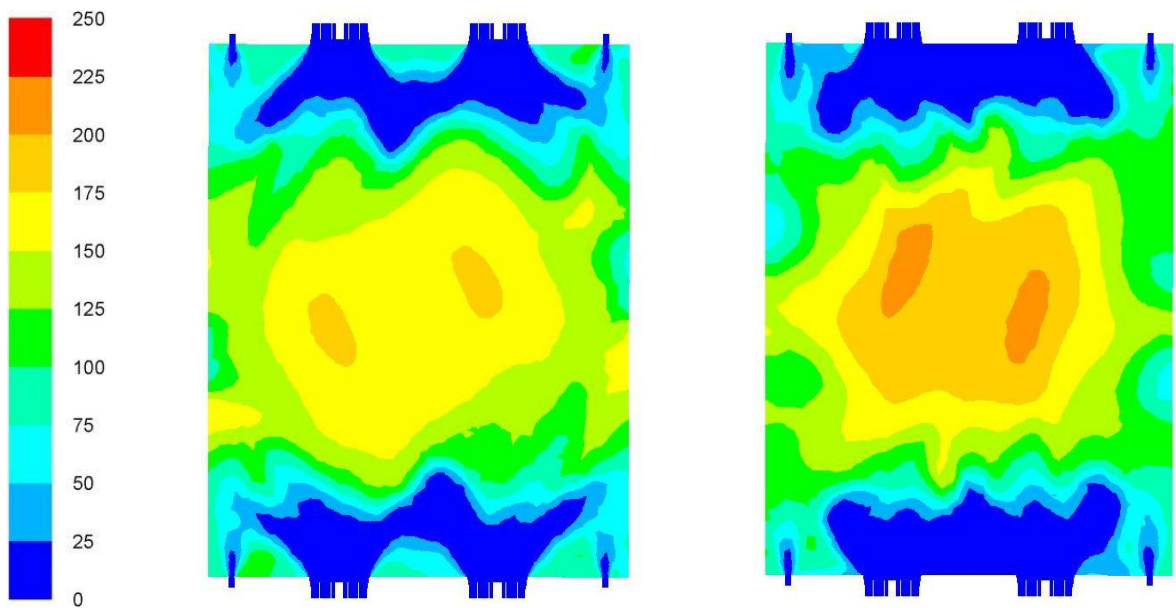


Рисунок 61 - Концентрация NOx на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, ppm

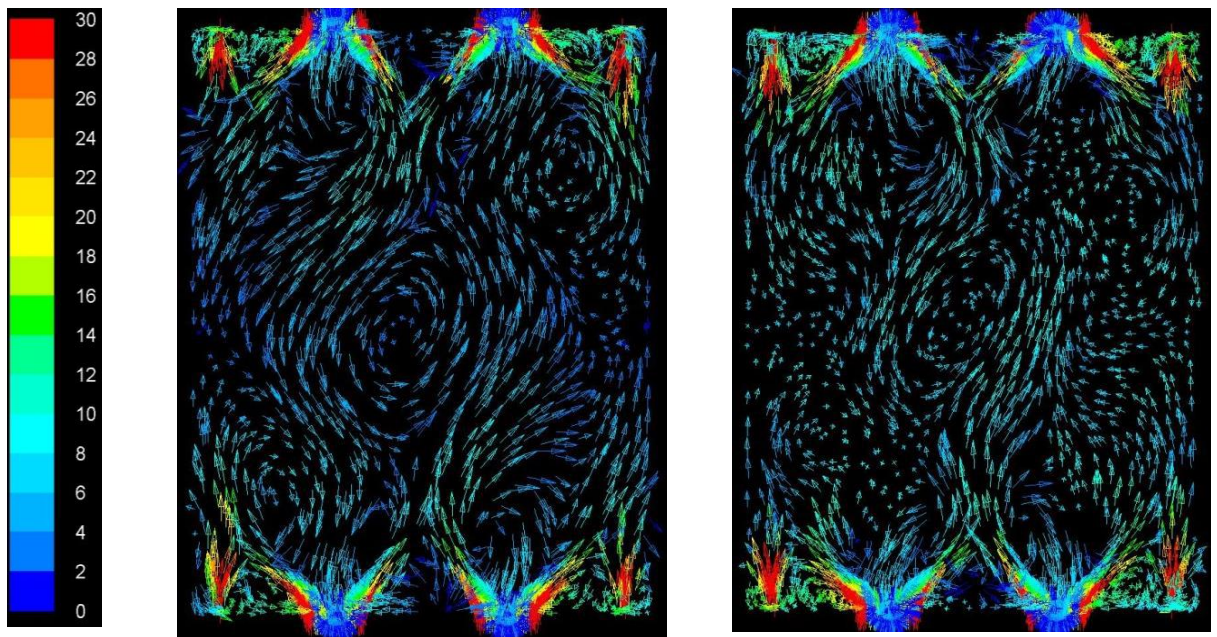


Рисунок 62 - Векторные поля скоростей на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, м/с

Максимальный уровень средних по сечению температур газов находится между вторым ярусом основных горелок (13,9 м) и аэродинамическим выступом (22,5 м) и составляет 1000-1100°C. В сечении перед ширмами ($Z=22,5$ м) средняя температура газов составляет 1043°C, на выходе из топки (за внутритопочными ширмами) – 963 °С, что коррелирует с результатами теплогидравлического расчёта котла (отклонение не более $\pm 50^\circ\text{C}$). Также стоит отметить, что поле температур в сечении перед ширмами равномерное, что благоприятно повлияет на режим их работы. Максимальные локальные температуры расположены между первым ярусом горелок и отметкой $Z=16$ м и составляют 1200-1300 °С. Максимальные локальные температуры газов у стен топочной камеры не превышают 800-850 °С, что является допустимым уровнем по условиям умеренного шлакования экранов топочной камеры.

Конструкция горелки предполагает активную рециркуляцию горячих инертных топочных газов к устью горелки, что, в свою очередь, обеспечивает раннее воспламенение и горение топливных частиц. На расстоянии 0,7-1,0 диаметра амбразуры от среза горелки уровень температур составляет 900-1000 °С, однако выход и горение летучих происходят при значительно более низких температурах – на срезе горелки. Поскольку Назаровский уголь является легковоспламеняемым (содержание летучих компонент достигает $V_{daf}=48\%$), выгорание топлива в большей степени зависит от наличия окислителя (избытка воздуха) и времени пребывания топливных частиц в топочной камере (высоты котла), чем от уровня температур.

Расположение горелок оптимизировано: с одной стороны, соседние струи горелок практически не взаимодействуют друг с другом, с другой, горелки не запирают сопла пристенного дутья. Установка сопел нижнего дутья обеспечивает хорошее заполнение холодной воронки кислородом, что, в свою

очередь, обеспечивает защиту экранов холодной воронки от наброса золотопливных частиц и исключение потерь тепла с провалом топлива. В целом, до отметки $Z=22,5$ м на стенах топочной камеры наблюдается присутствие кислорода, на фронтальной и тыльной стенах топочной камеры прослеживается работа сопел пристенного дутья.

Поскольку присосы воздуха в топочную камеру значительно превышают нормативные значения (в расчётах принято $\Delta\alpha_{пр}=0,11$), зона активного горения обедняется кислородом. Так, избыток воздуха на горелках составляет $\alpha_{гор}=0,87$ (при общем избытке воздуха на выходе из топки $\alpha_T=1,18$), по полям концентрации кислорода видно, что по центру топочной камеры концентрация O_2 минимальна, что замедляет выгорание топлива. Максимальное снижение присосов воздуха вплоть до нормативных значений позволит лучше организовать топочный процесс и минимизировать механический недожог топлива.

По полям концентрации дискретной фазы можно отметить, что выше ярусов основных горелок происходит постепенное отжатие топливных частиц на стены топочной камеры. При этом выше аэродинамического пережима наблюдаются локальные зоны с высокой концентрацией дискретной фазы (золы) на стенах топочной камеры, горизонтального газохода и конвективной шахты. Вероятность шлакования в данном случае возможна при условии высокого уровня температур на стенах. Однако, области максимальных локальных температур в данном случае не превышают $750\text{ }^\circ\text{C}$, что говорит о малой вероятности шлакования стен топочной камеры и горизонтального газохода. Помимо этого, проектом предусмотрена установка аппаратов очистки поверхностей нагрева.

При оценке эмиссии оксидов азота была использована схема образования, уточненная на основе моделирования эксплуатационного режима работы котла Е-820, работающего на угле со схожим элементарным составом и близкой степенью метаморфизма. Поскольку локальные зоны максимальных температур не превышают $1500\text{ }^\circ\text{C}$, как следствие термические оксиды азота не образуются, и абсолютный вклад в генерацию оксидов азота вносит топливные оксиды азота. Основная генерация NO_x происходит выше 2-го яруса горелок. Сами горелки работают в низкоэмиссионном режиме благодаря низкой крутке потока в канале пылегазовоздушной смеси, что обеспечивает пребывание топлива в обеднённой кислородом области. На выходе из топки концентрация NO_x находится на уровне $\leq 350\text{ мг/нм}^3$.

В целом организация топочного процесса (принятая конструкция ТГУ и топливно-воздушный баланс) позволяют получить требуемые экономические и экологические показатели котла:

$$T''_T \leq 1100\text{ }^\circ\text{C}; \eta_{пр} \geq 90\%; NO_x \leq 350\text{ мг/нм}^3.$$

При разработке технических решений на начальной стадии проектирования была проведена проверка целесообразности внедрения системы нижнего дутья, поскольку при заданной тонине помола топлива $R_{90} =$

60%, потери тепла с провалом в холодную воронку (механическим недожогом в провале) на некоторых режимах работы котла могут достигать до 1%.

Результаты сравнительного моделирования на номинальной нагрузке с системой нижнего дутья и без него представлены на рисунках 63-67.

Интегральные показатели сведены в таблице 37.

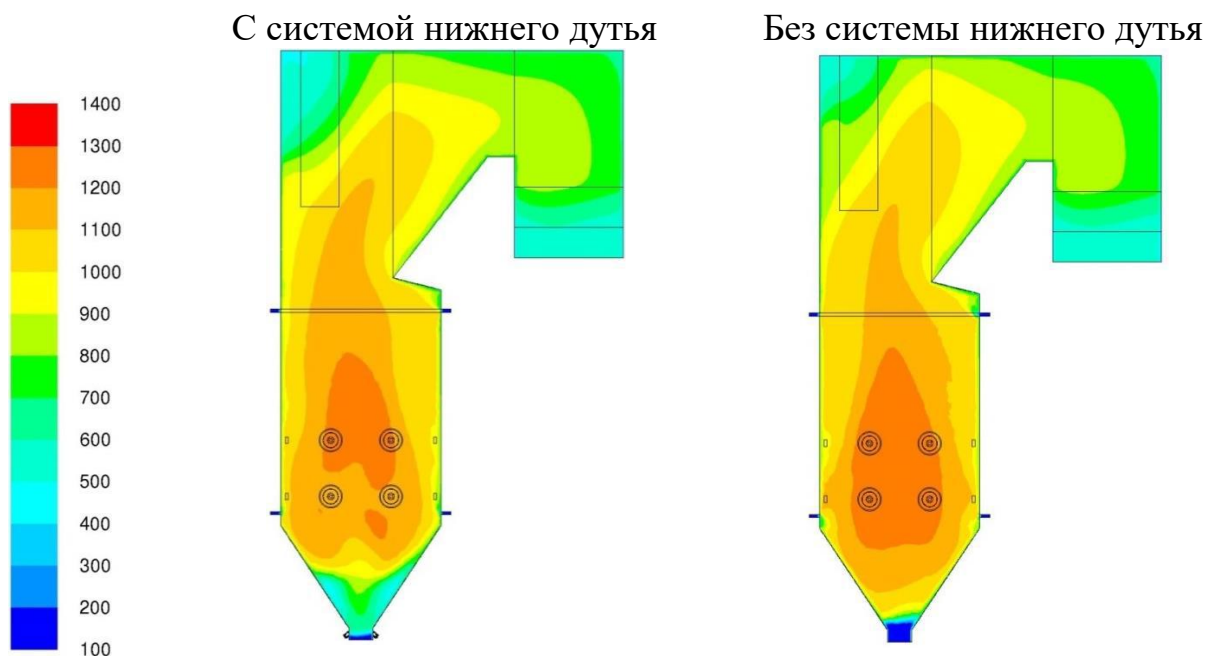


Рисунок 63 - Поля температур в продольных сечениях топочной камеры, °С

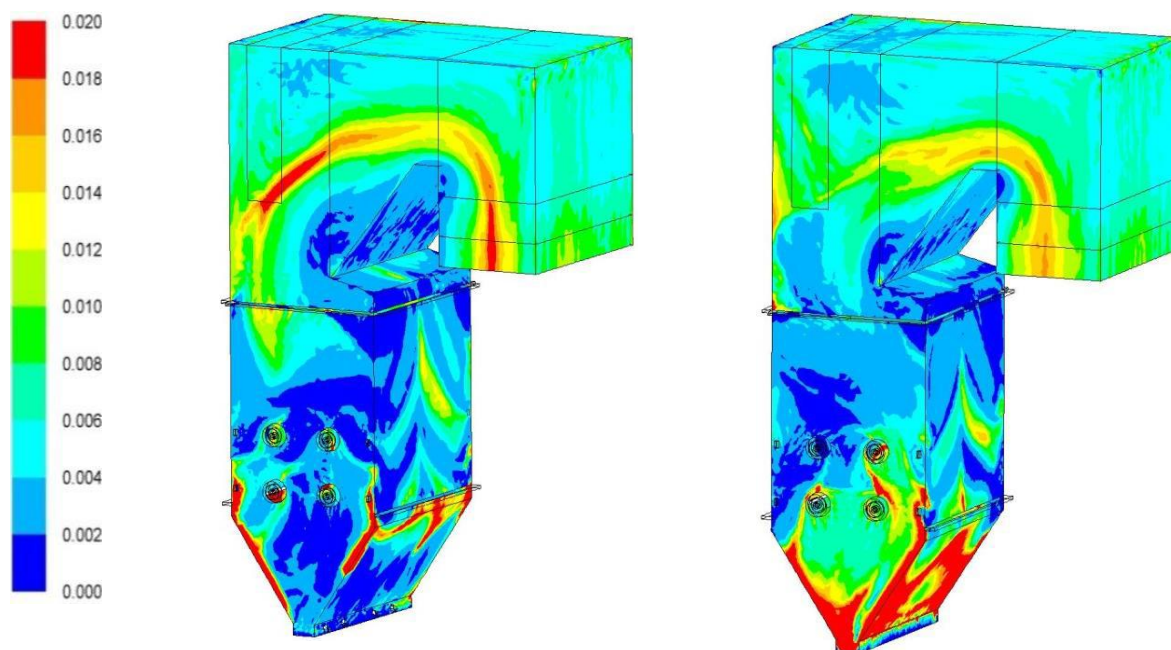


Рисунок 64 - Концентрация дискретной фазы на стенах топочной камеры (правая боковая сторона, тыл), кг/м³

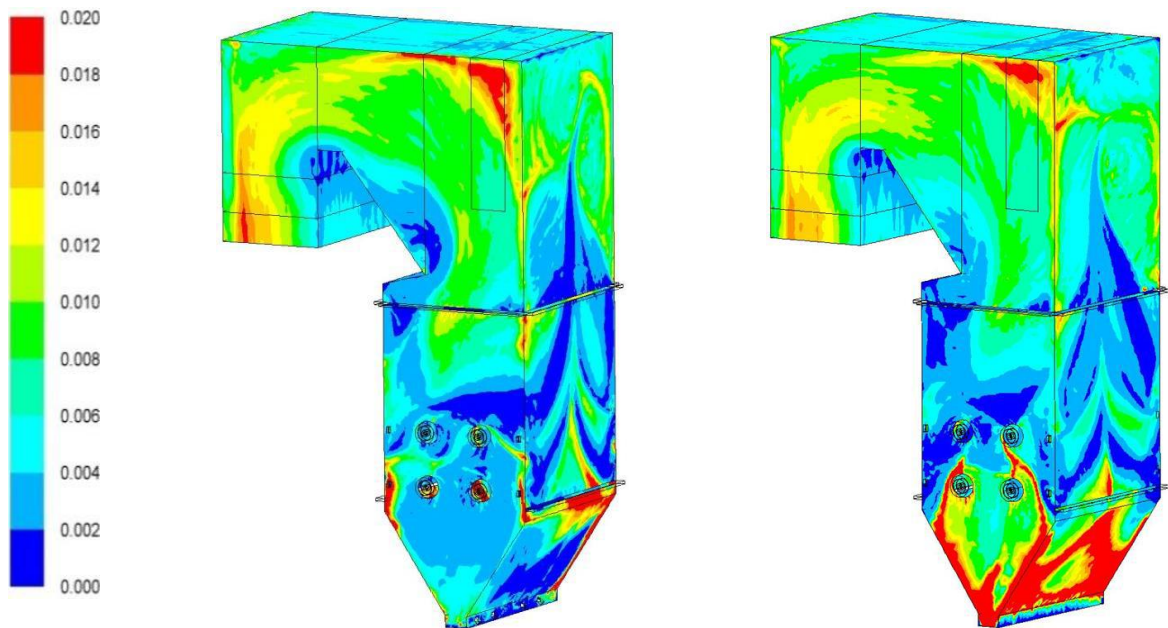


Рисунок 65 - Концентрация дискретной фазы на стенах топочной камеры (левая боковая сторона, фронт), кг/м^3

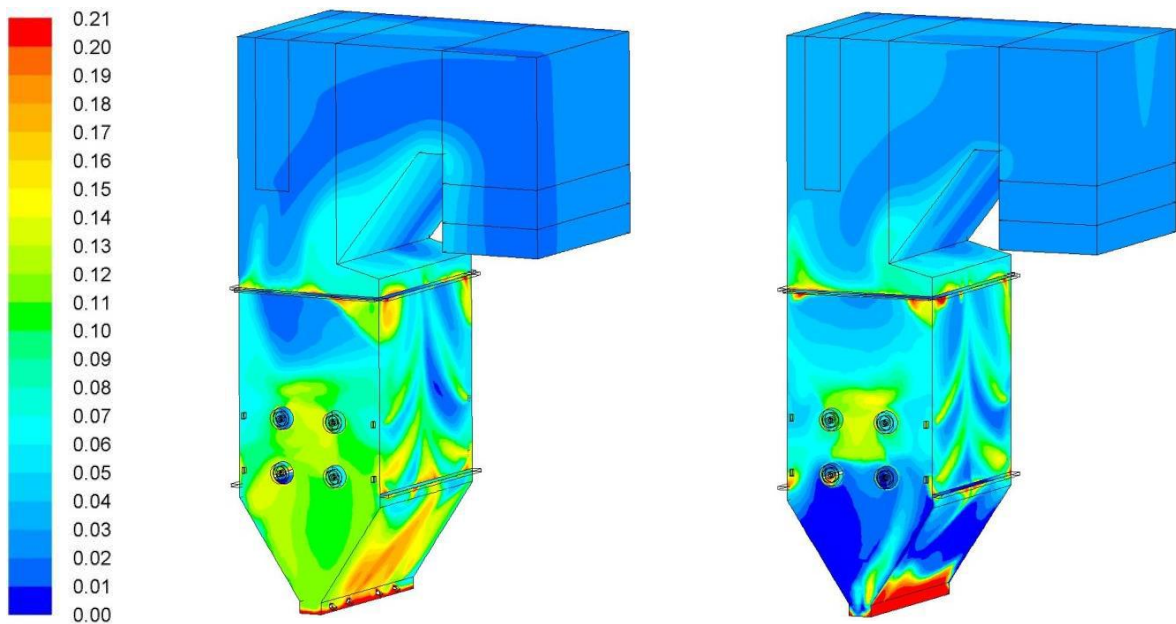


Рисунок 66 - Объёмная доля кислорода на стенах топочной камеры (правая боковая сторона, тыл)

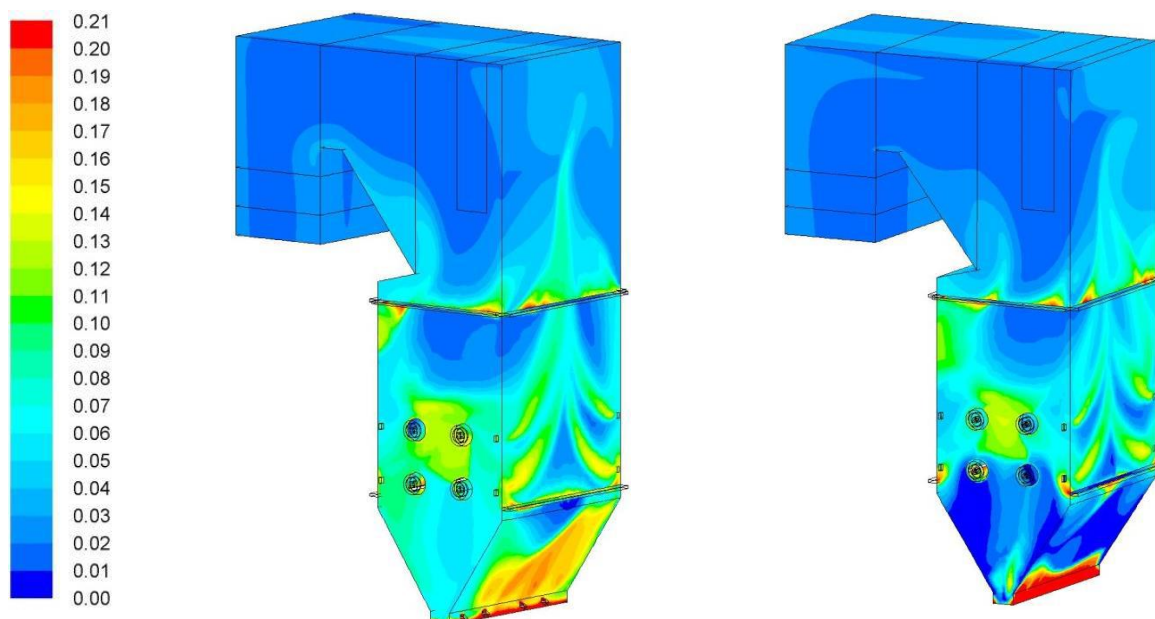


Рисунок 67 - Объёмная доля кислорода на стенах топочной камеры (левая боковая сторона, фронт)

Таблица 37 - Интегральные сравнительные показатели на 100%Dном с системой нижнего дутья и без нее

Вариант расчета	$T_T, ^\circ\text{C}$ (отметка $Z=22,5$ м / выход из топки)	$q_{4\text{хв}}, \%$ с провалом (в холодной воронке)	$\text{NO}_x,$ мг/м^3
С установкой НД	1043 / 966	0,03	≤ 350
Без установки НД	1020 / 952	0,6	≤ 350

Максимальные локальные температуры в зоне активного горения в обоих вариантах находятся на уровне 1200-1300 °С . В варианте №1 за счёт отвода части воздуха в нижнее дутьё происходит некоторое затягивание горения, кроме того, в варианте без нижнего дутья из-за наличия незаполненного пространства факел находится несколько ниже и частично заходит в холодную воронку.

Температура газов перед ширмами в варианте с нижним дутьем на 22 °С выше, чем в варианте №2, что, с точки зрения работы ширмовых поверхностей нагрева, является более благоприятным. В целом же температура газов перед ширмами и на выходе из топочной камеры в обоих вариантах коррелирует с тепловым расчётом котла (отклонение в пределах ± 50 °С) и находится на допустимом уровне по условиям шлакования ширмовых и конвективных поверхностей нагрева.

Преимущество внедрения нижнего дутья наглядно прослеживается по полям концентраций дискретной фазы и кислорода на стенах топочной камеры. Так, в варианте №2 происходит значительная сепарация топлива в холодную воронку . При отсутствии окислителя и наличии температур выше 1000 °С прогнозируется шлакование скатов холодной воронки. По фактору шлакования

вариант №1 выглядит более предпочтительным. Механический недожог топлива с провалом в варианте №1 составляет 0,03%, в варианте 2 – 0,6%. Таким образом установка сопл нижнего дутья позволяет эффективно дожечь сепарирующееся топливо и повысить КПД котла. Концентрация оксидов азота в обоих вариантах ≤ 350 мг/нм³ и удовлетворяет нормативным требованиям для данного типа котлов.

В качестве проектного принят вариант №1 с установкой сопл нижнего дутья. Данное решение позволит уменьшить шлакования холодной воронки и увеличить экономичность работы котла за счёт уменьшения механического недожога топлива в провале. Оптимальная доля воздуха на нижнее дутье должна быть определена на стадии режимной наладки.

Моделирование проводилось при 3-х мельничном режиме с перекрестной схемой запитки горелок. В работе находится 6 вихревых горелок из 8. В 2 отключенные по пыли горелки подается только вторичный воздух на охлаждение со скоростью $W_{вт}=12$ м/с. Полный расход топлива на котел равен $V_k=43,78$ т/ч. Температура аэросмеси равна $t_1=86^\circ\text{C}$, температура вторичного воздуха перед горелками $t_2=214^\circ\text{C}$.

Результаты моделирования в виде полей температур, концентраций O_2 , твердой фазы представлены на рисунках 68- 74.

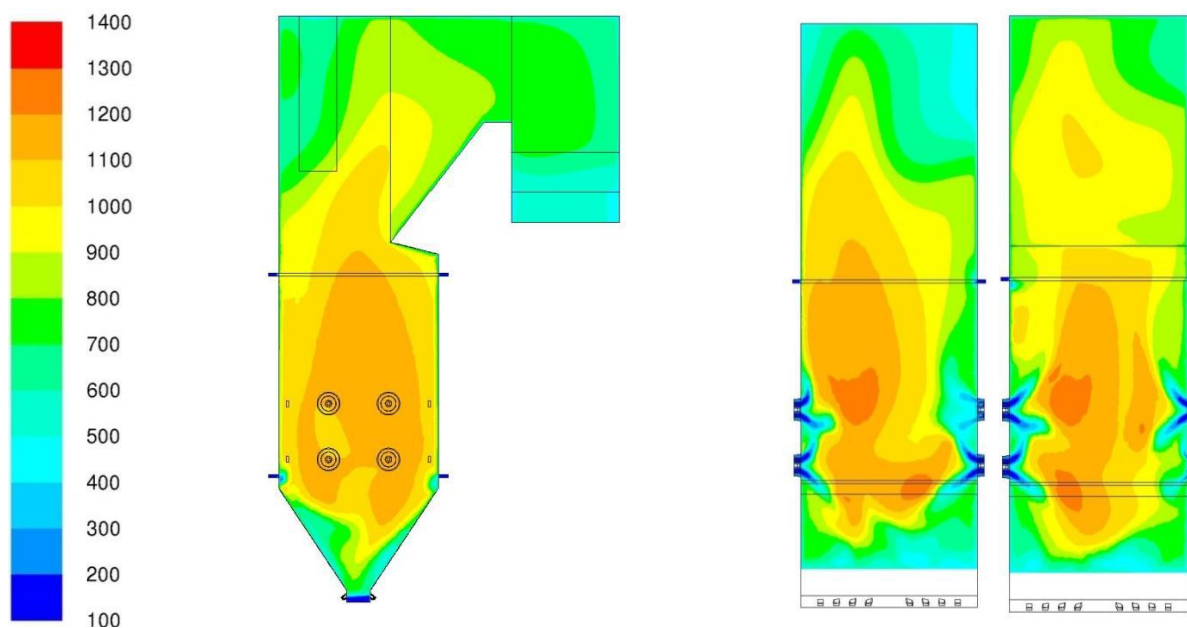
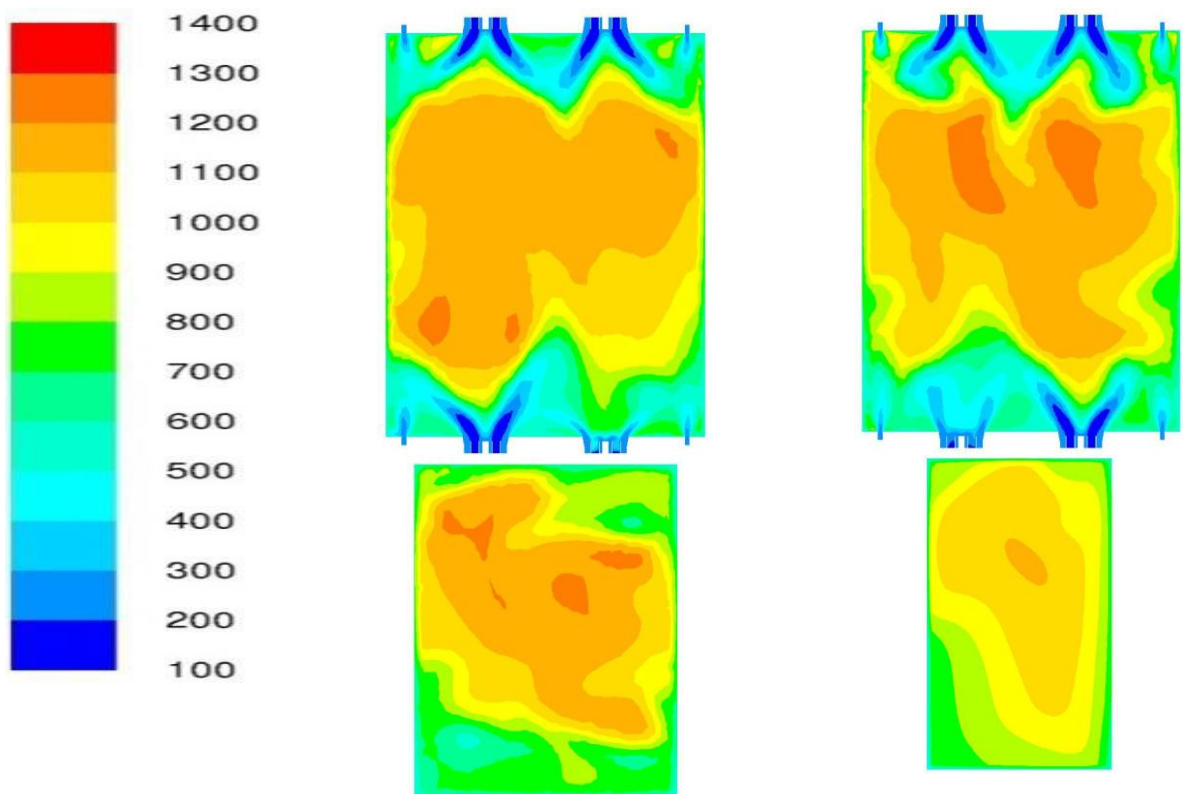


Рисунок 68 - Поля температур в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, °С



Рисуно 69 - Поля температур на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, отметки $Z=16\text{м}$ над горелками и перед ширмами (отметка $Z = 22,5\text{ м}$), $^{\circ}\text{C}$

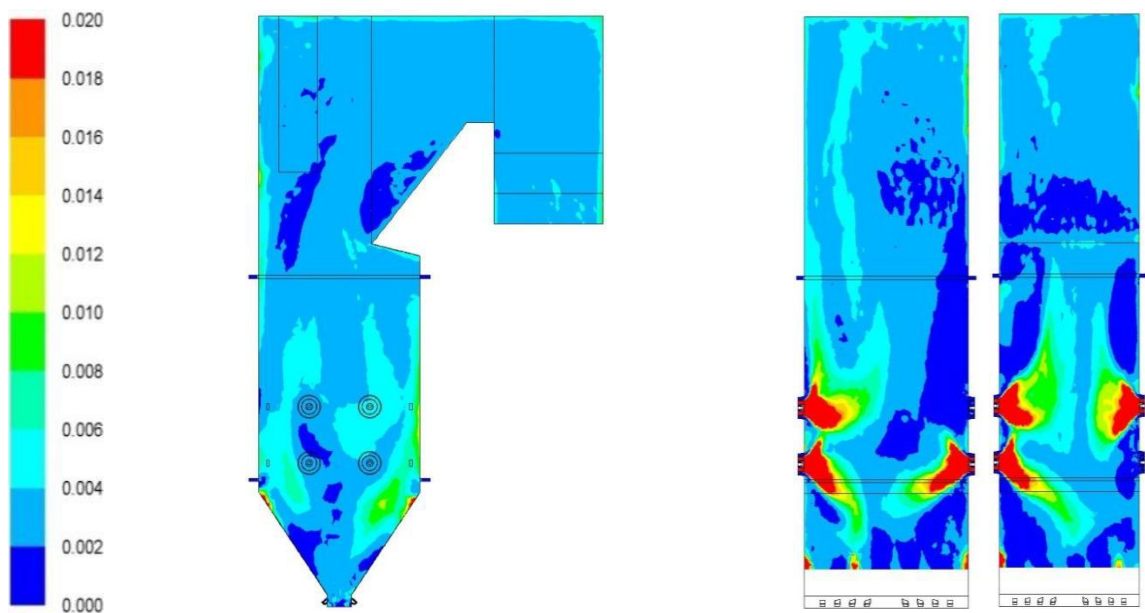


Рисунок 70 - Концентрация дискретной фазы в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, $\text{кг}/\text{м}^3$

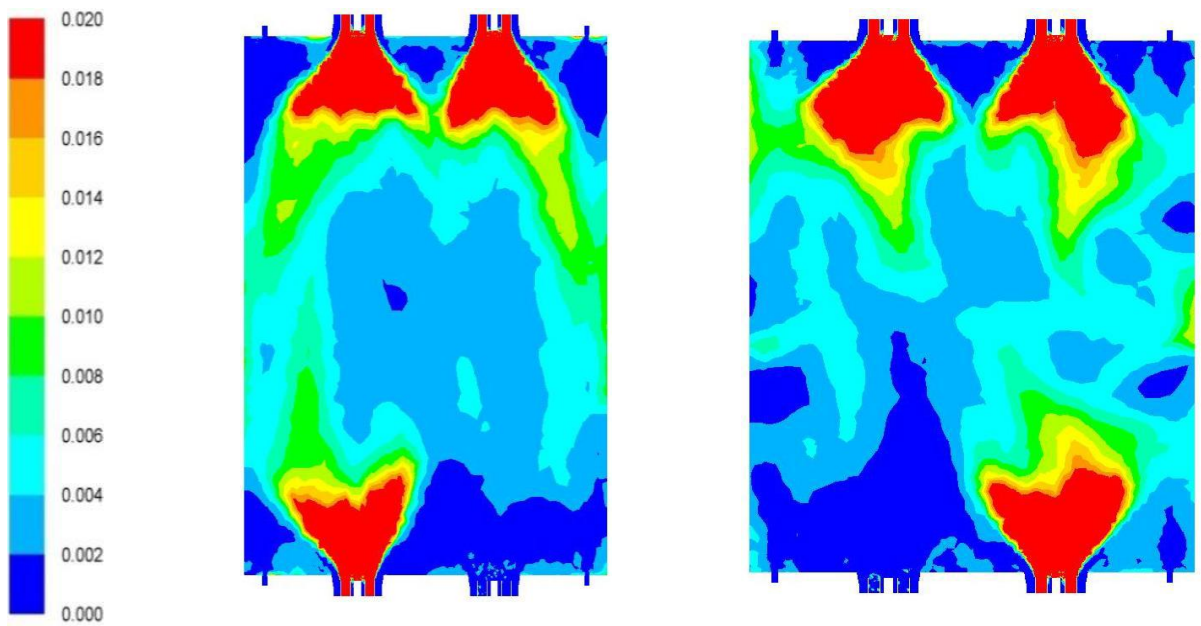


Рисунок 71 - Концентрация дискретной фазы на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, кг/м³

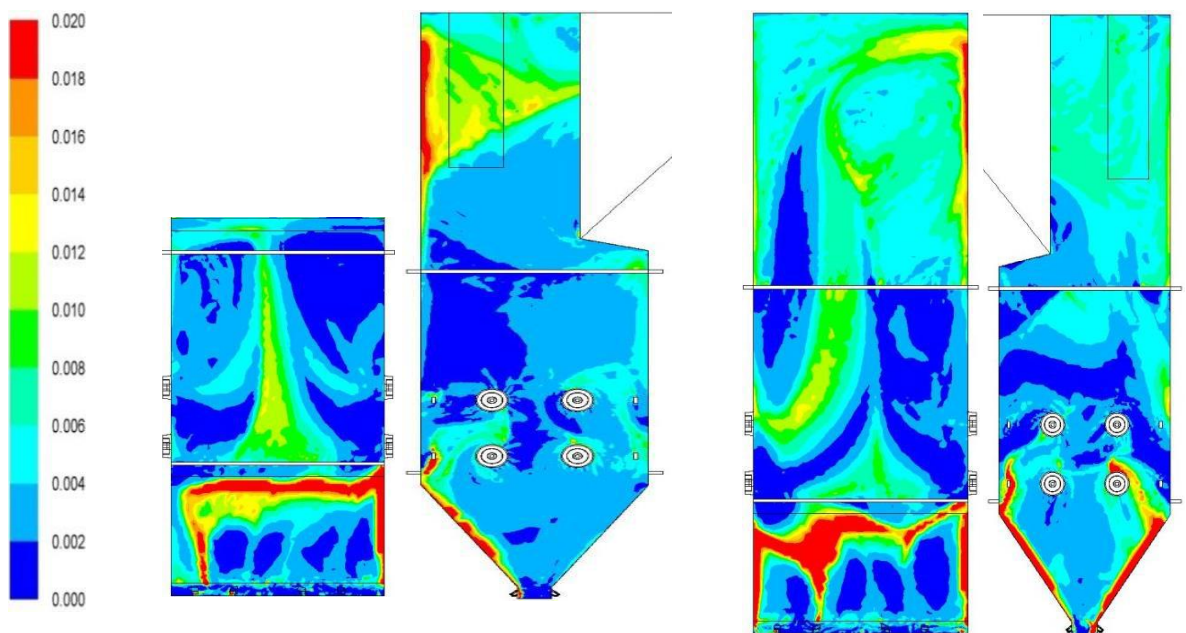


Рисунок 72 - Концентрация дискретной фазы на стенах топочной камеры, кг/м³

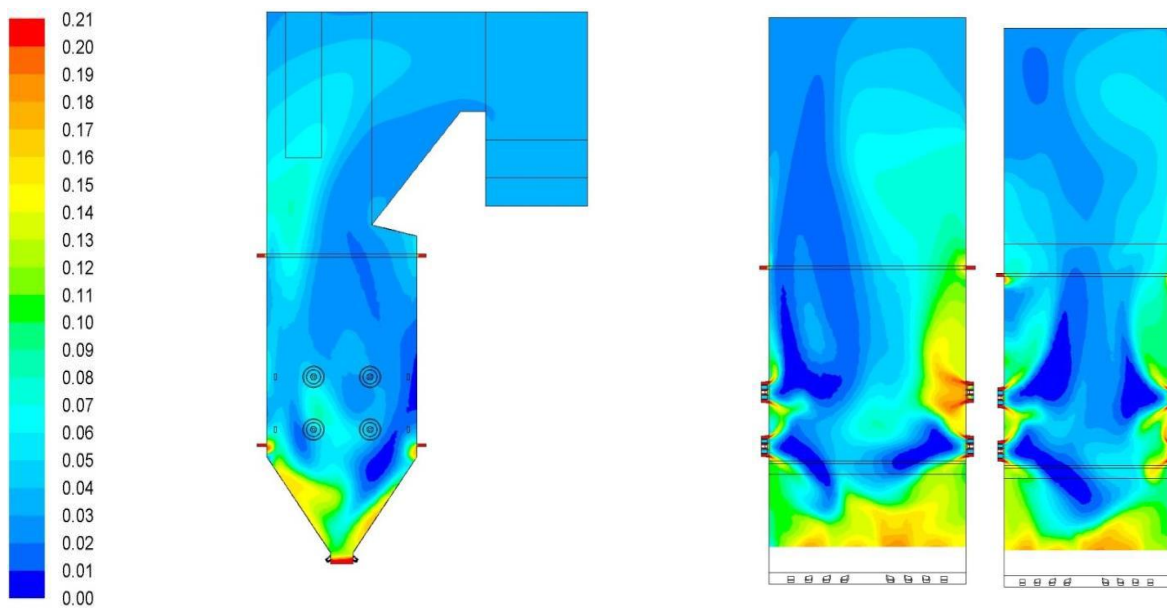


Рисунок 73 - Объёмная доля кислорода в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок

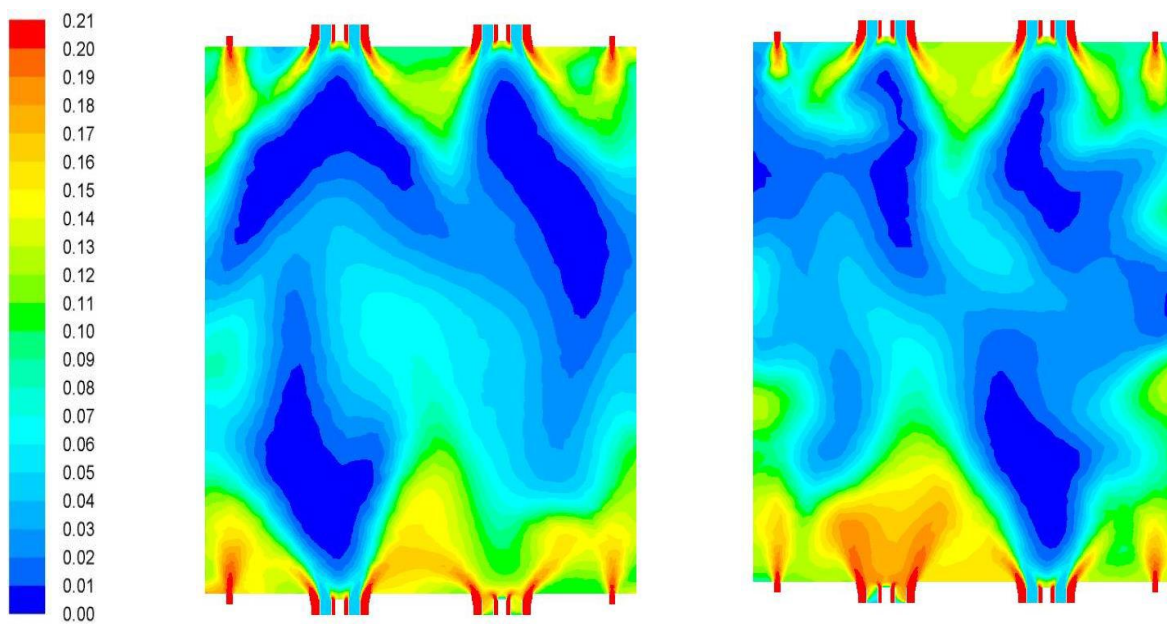


Рисунок 74 - Объёмная доля кислорода на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок

Максимальный уровень средних по сечению температур газов находится выше 2-го яруса горелок и составляет 850-1000 °С, что на 50-100 °С ниже, чем на нагрузке 100 %. Перекрестная запитка горелок обеспечивает умеренную неравномерность тепловыделения по сечению топки, характеризуется хорошей аэродинамикой топочного процесса и, как следствие, глубоким выгоранием топлива до уровня $q_4 \leq 1\%$.

Также были проведены расчёты с равномерной раздачей вторичного воздуха на работающие и неработающие горелки (скорость вторичного воздуха в данном случае составила $W_{вт} = 16,8$ м/с). В данном случае происходит снижение избытка воздуха на работающих горелках с $a_{гор} = 0,69$ до $a_{гор} = 0,64$, что приводит к увеличению механического недожога топлива на $\approx 30\%$. Интегральные показатели данного режима работы котла удовлетворяют

технико-экономическим и экологическим требованиям:

1. $T_{г''} = 953 / 884$ °С (отметка $Z = 22,5$ м / выходное сечение топки);
2. $NO_x \leq 350$ мг/нм³;
3. $q_4 \leq 1\%$.

50%-ная нагрузка котла при 3-ёх работающих мельницах.

Расход топлива на котёл составляет $B_p = 32,92$ т/ч, температура пылегазовоздушной смеси – 104 °С, температура горячего воздуха – 205 °С. Тонкость помола пыли для расчета принималась на уровне $R_{90} = 60\%$, $R_{200} = 30,4\%$. В работе находится 6 вихревых горелок из 8. Вторичный воздух распределяется равномерно по всем горелкам.

Результаты моделирования топочных процессов в виде полей температур, объемных долей O₂, концентраций дискретной фазы приведены на рисунках 75-80.

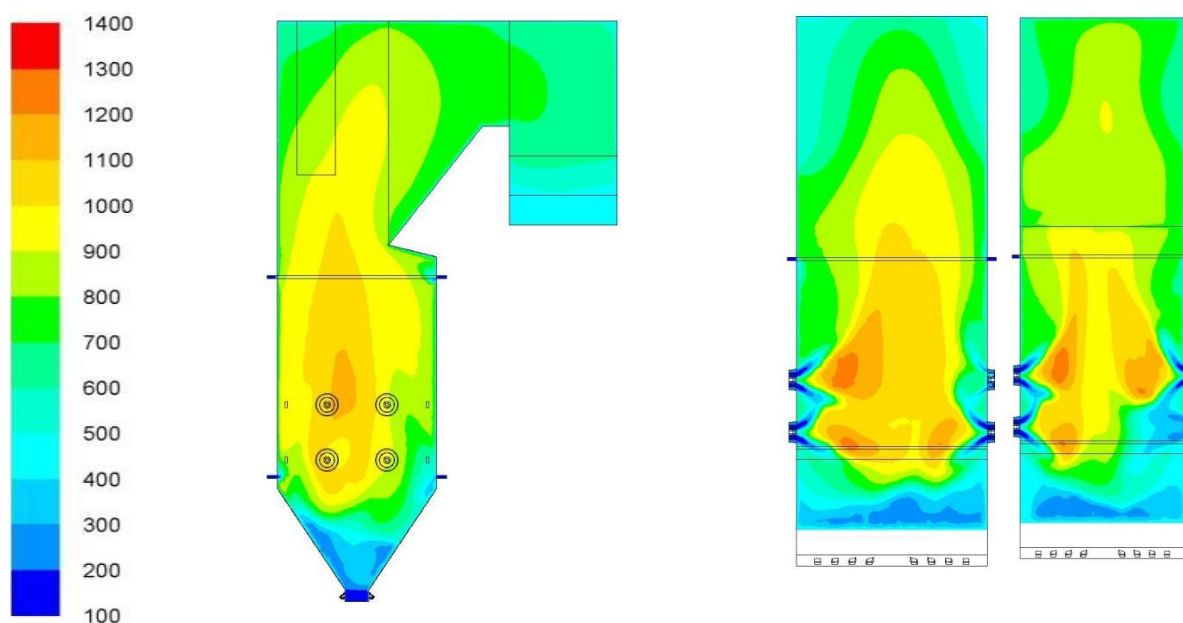


Рисунок 75 - Поля температур в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, °С

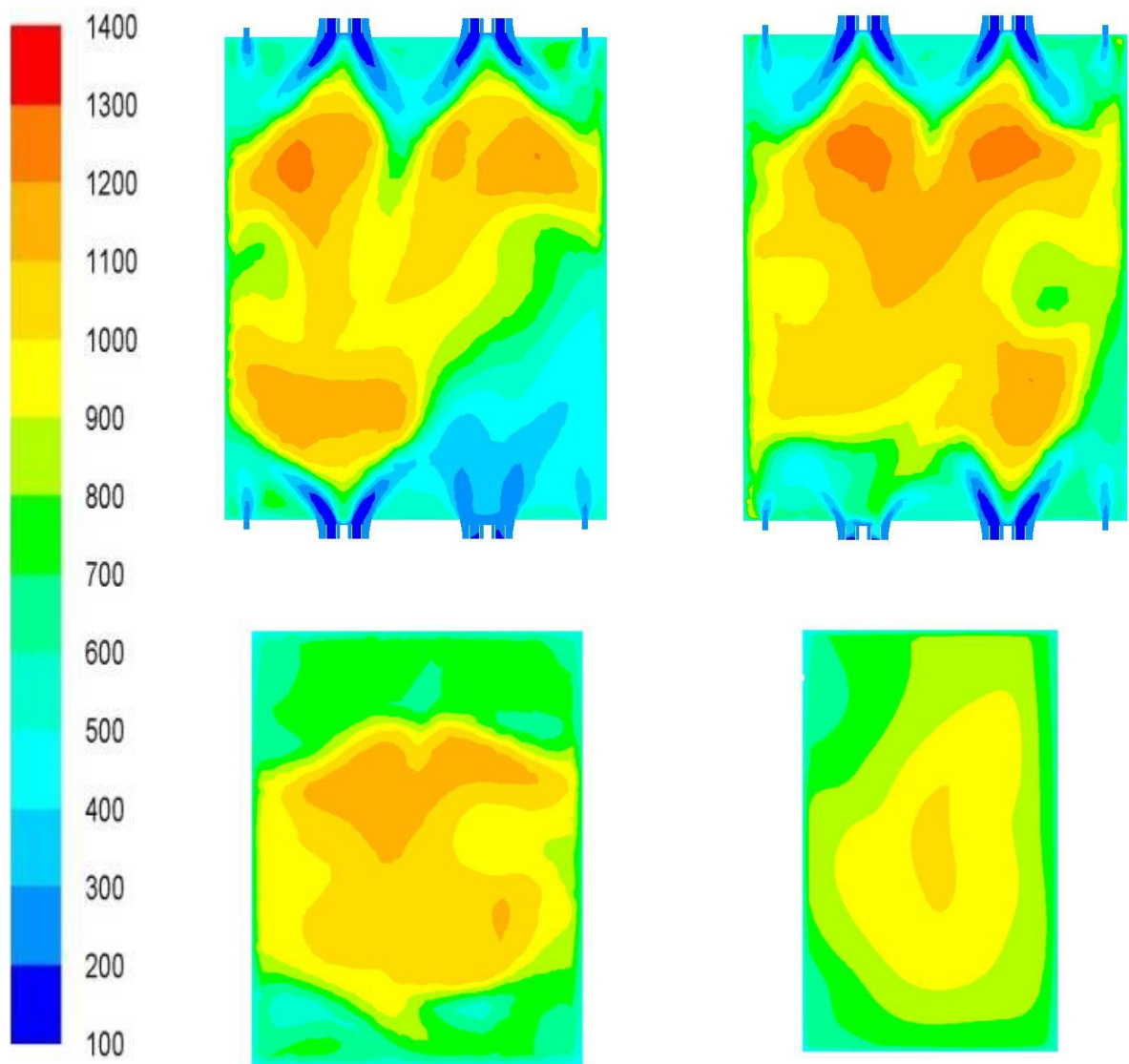


Рисунок 76 - Поля температур на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, отметки $Z=16\text{м}$ над горелками и перед ширмами (отметка $Z = 22,5\text{ м}$), $^{\circ}\text{C}$

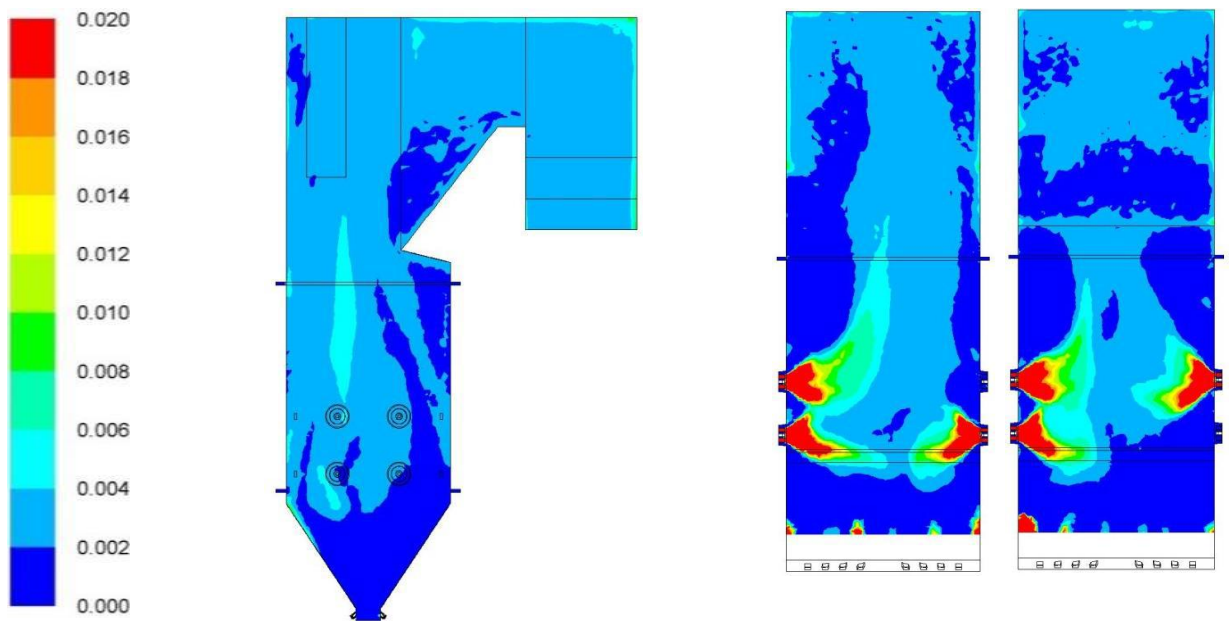


Рисунок 77- Концентрация дискретной фазы в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, кг/м³

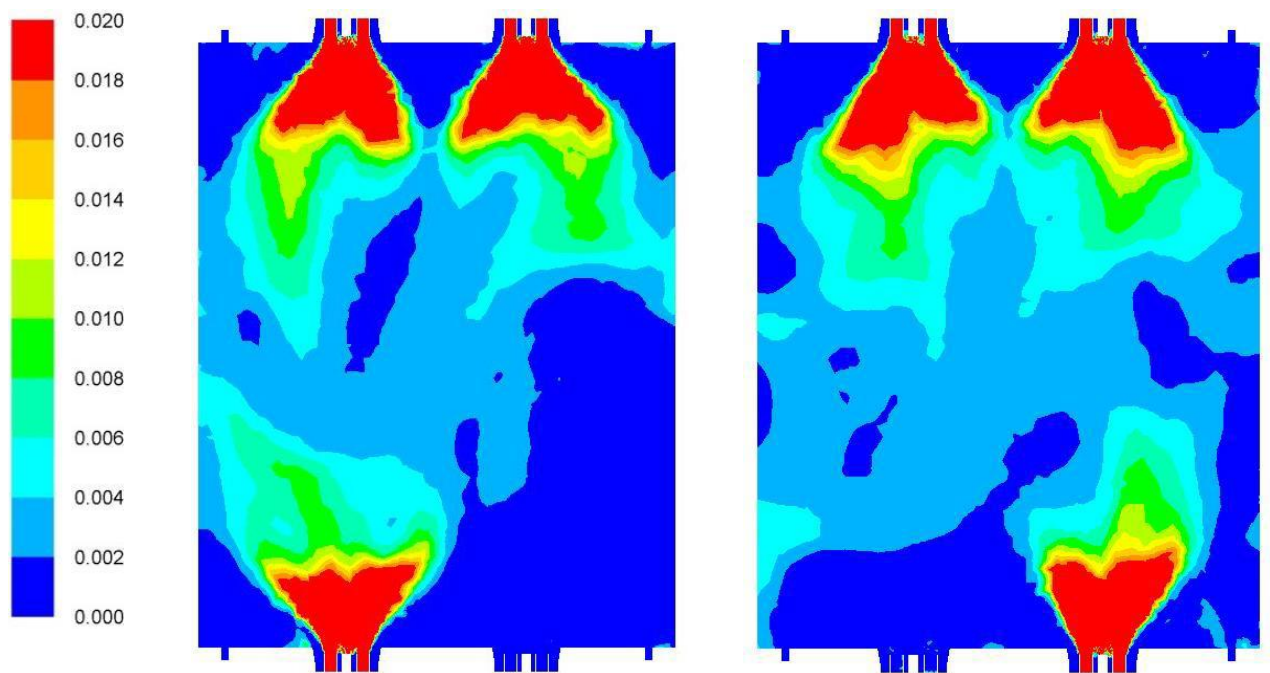


Рисунок 78 - Концентрация дискретной фазы на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, кг/м³

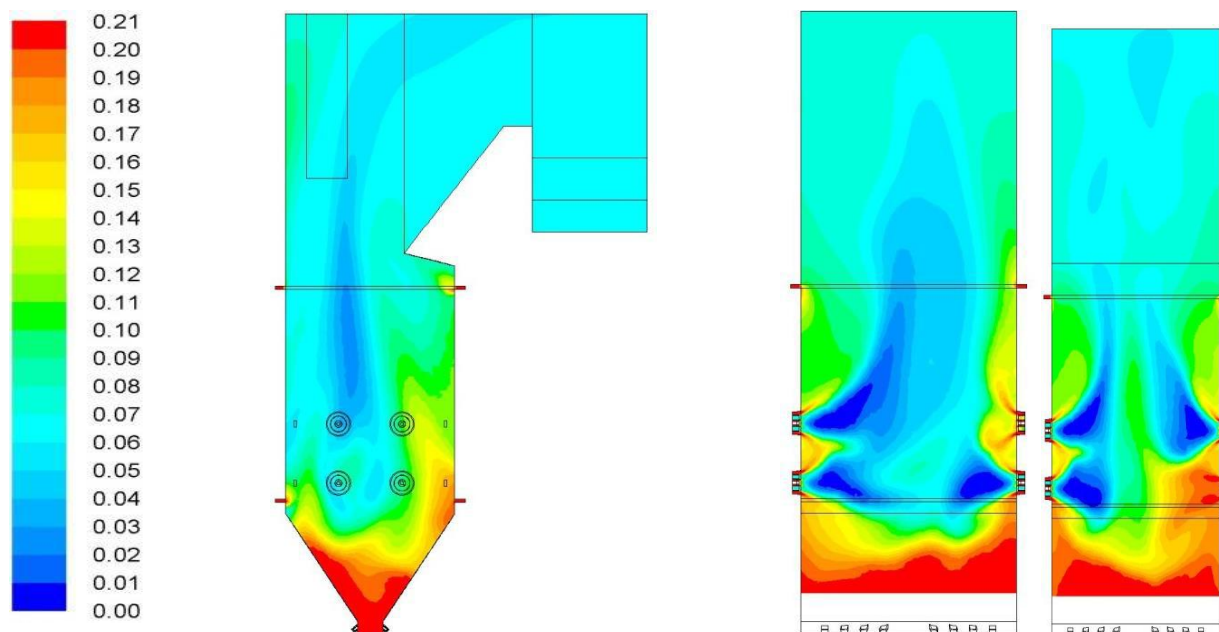


Рисунок 79 - Объёмная доля кислорода в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок

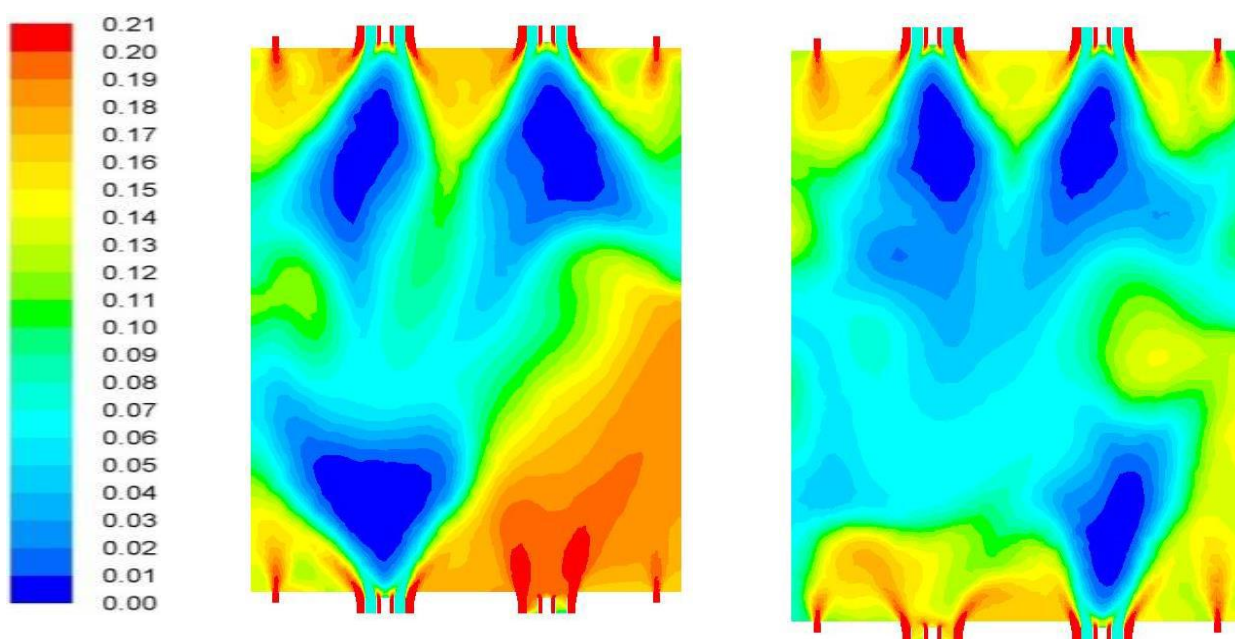


Рисунок 80 - Объёмная доля кислорода на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок

Максимальный уровень средних по сечению температур газов (рисунок 75) находится между вторым ярусом основных горелок (13,9 м) и пережимом, образуемым аэродинамическим выступом (22,5 м) и составляет 850-900 °С. В сечении перед ширмами ($Z=22,5$ м) средняя температура газов составляет 851°С, на выходе из топки (за внутритопочными ширмами) – 800 °С, что коррелирует с результатами теплогидравлического расчёта котла (отклонение не более ± 50 °С). Максимальные локальные температуры расположены между первым ярусом горелок и отметкой $Z=16$ м и составляют 1100-1300 °С.

Выгорание Назаровского угля в большей степени зависит от наличия окислителя, и в меньшей – от уровня температур. Так, несмотря на низкий уровень температур газов, механический недожог топлива на нагрузке 50% составляет $\approx 0,11\%$. Это обусловлено ведением топочного процесса при повышенных избытках воздуха. Избыток окислителя в топочной камере визуально можно оценить по полям объёмной доли кислорода, видно, что области без кислорода наблюдаются только в зонах рециркуляции топочных газов к устью работающих горелок. В целом же, по всей высоте топочной камеры наблюдается избыток окислителя. Выше ярусов горелок поле температур симметричное, к отметке $Z=22,5$ м топочные газы практически равномерно заполняют сечение топочной камеры (рисунок 76).

Интегральные показатели данного режима работы котла удовлетворяют технико-экономическим и экологическим требованиям:

1. $T_{г''} = 851 / 800$ °С (отметка $Z=22,5$ м / выходное сечение топки);
2. $NO_x \leq 350$ мг/нм³;
3. $q_4 \leq 0,2\%$.

50%-ная нагрузка котла при 2-ух работающих мельницах.

Расход топлива на котёл составляет $V_p=32,812$ т/ч, температура пылегазовоздушной смеси – 87 °С, температура горячего воздуха – 203 °С. Тонкость помола пыли для расчета принималась на уровне $R_{90}=60\%$, $R_{200}=30,4\%$.

В работе находится 4 вихревых горелки из 8. Неработающие горелки располагаются на противоположных сторонах топочной камеры. Вторичный воздух распределяется равномерно по всем горелкам.

Результаты моделирования топочных процессов в виде полей температур, объёмных долей O_2 , концентраций дискретной фазы приведены на рисунках 81 – 86.

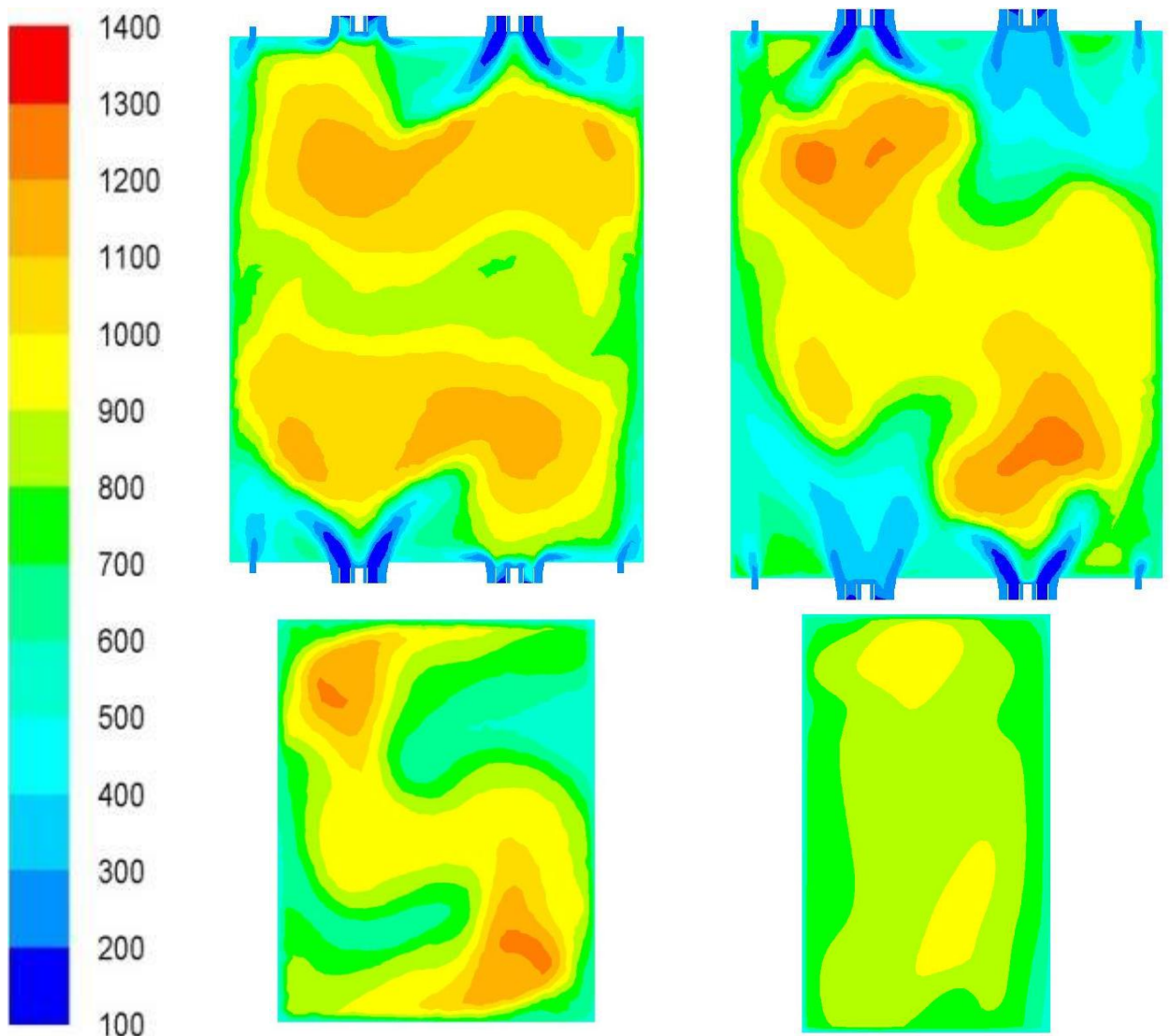


Рисунок 81 - Поля температур на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, отметки $Z=16$ м над горелками и перед ширмами (отметка $Z=22,5$ м), °С

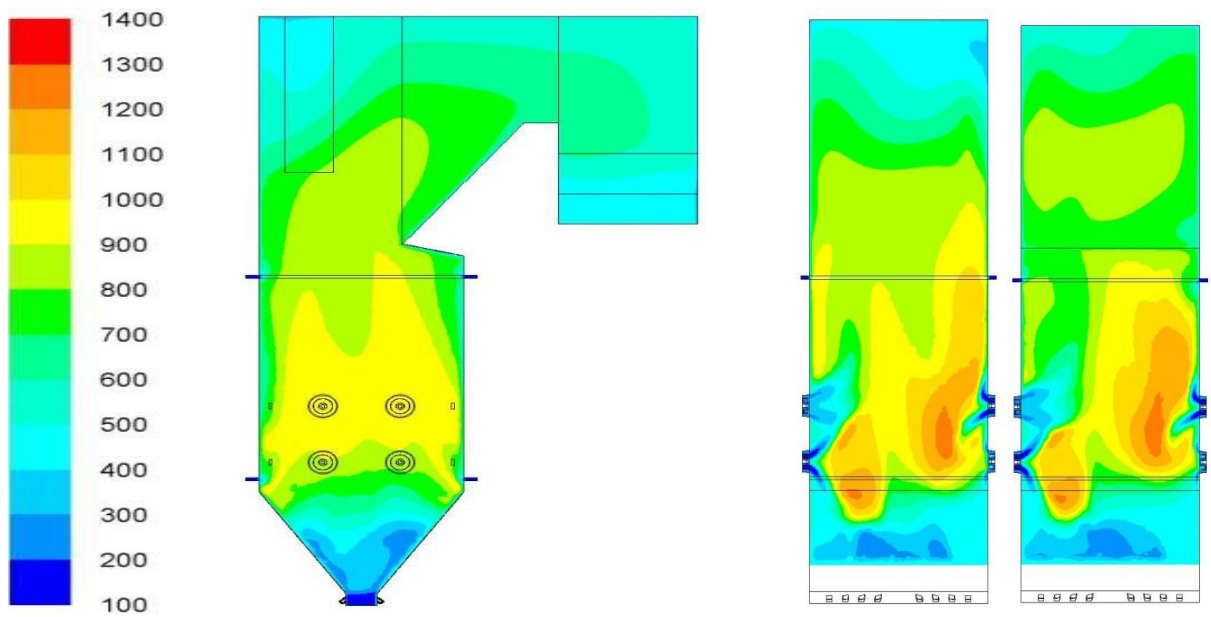


Рисунок 82 - Поля температур в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, °С

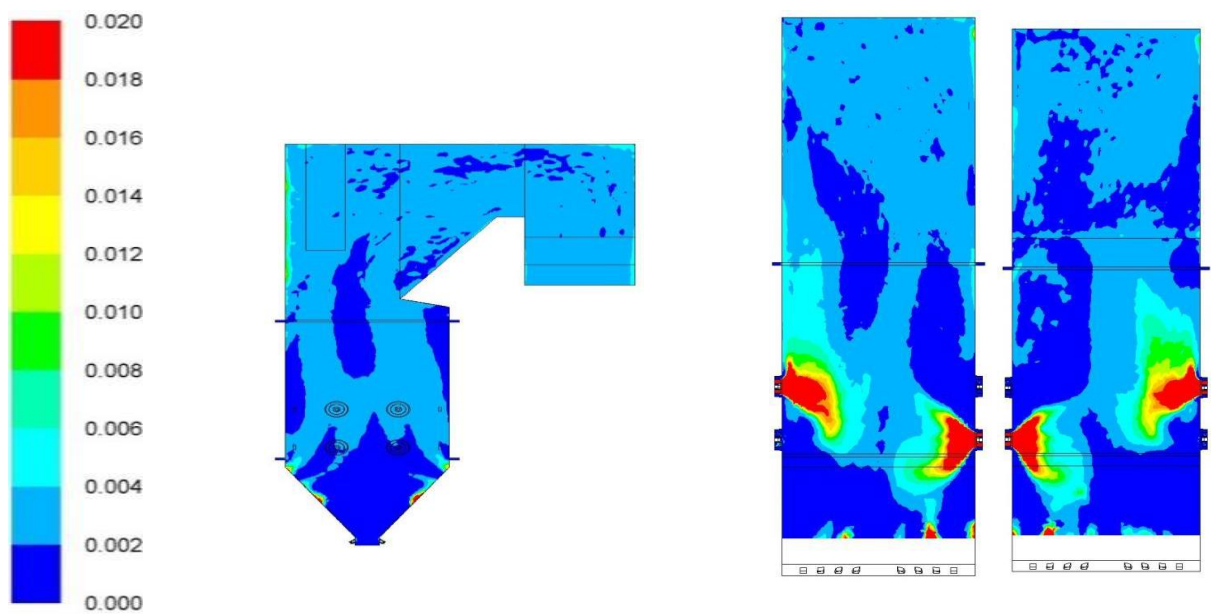


Рисунок 83 - Концентрация дискретной фазы в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок, кг/м³

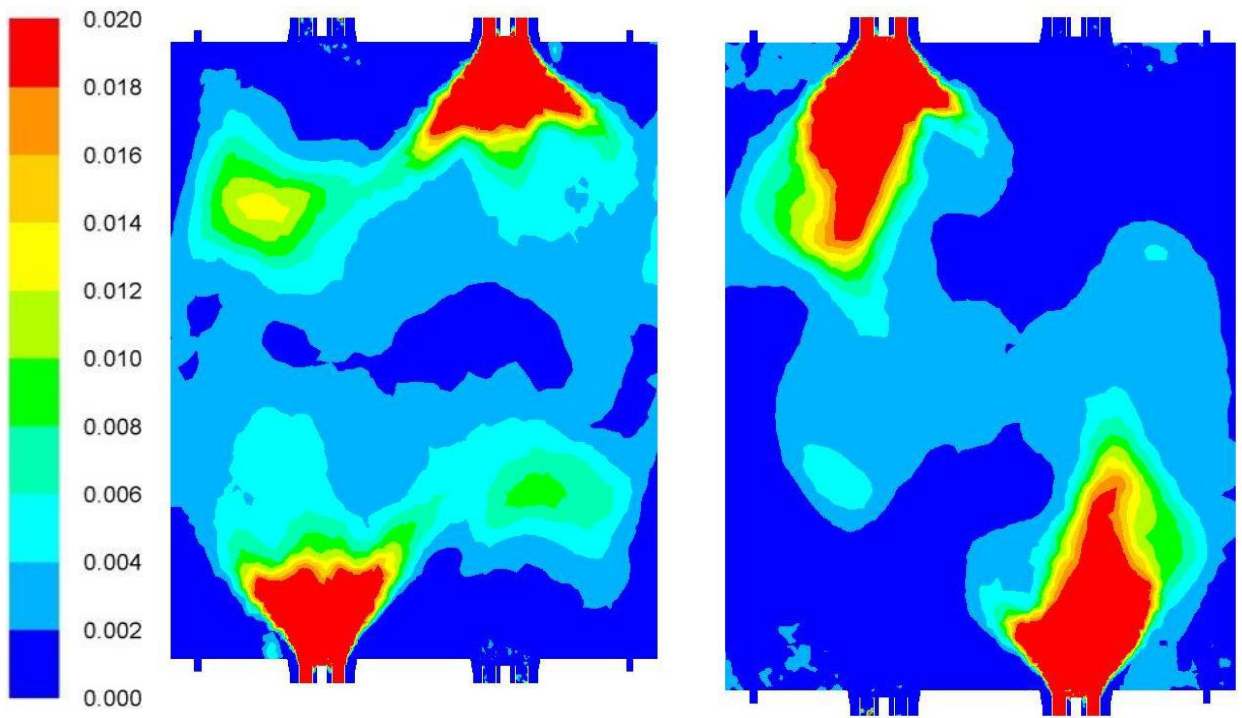


Рисунок 84 - Концентрация дискретной фазы на уровне 1-го и 2-го ярусов горелок, $\text{кг}/\text{м}^3$

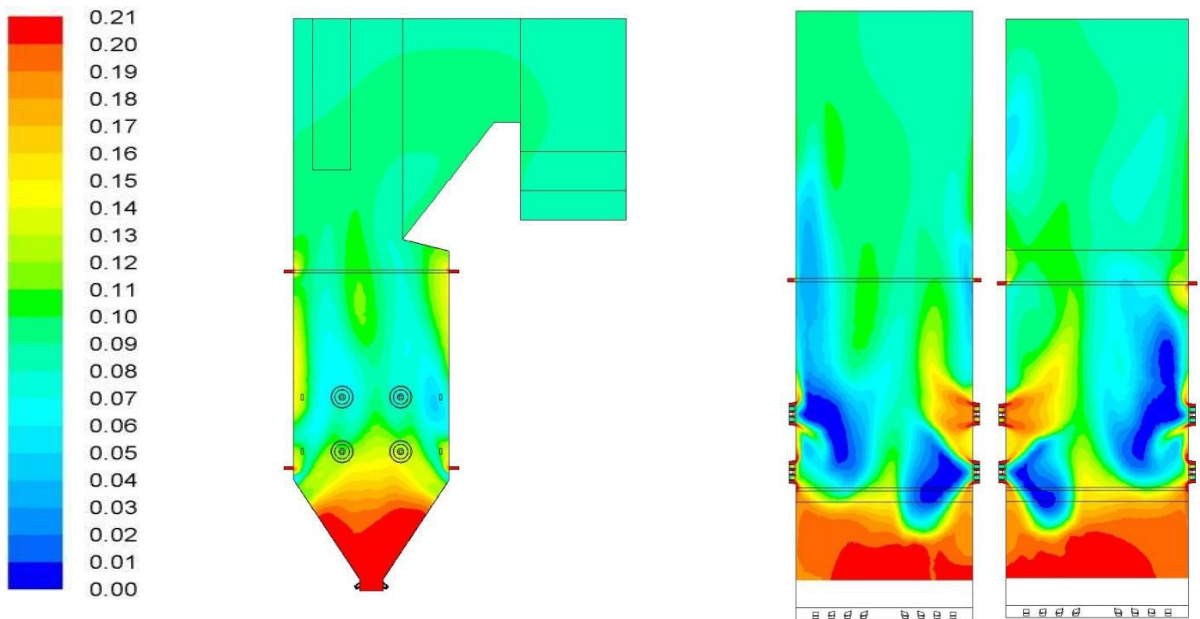


Рисунок 85 - Объёмная доля кислорода в продольном сечении и в вертикальных сечениях топочной камеры по осям горелок

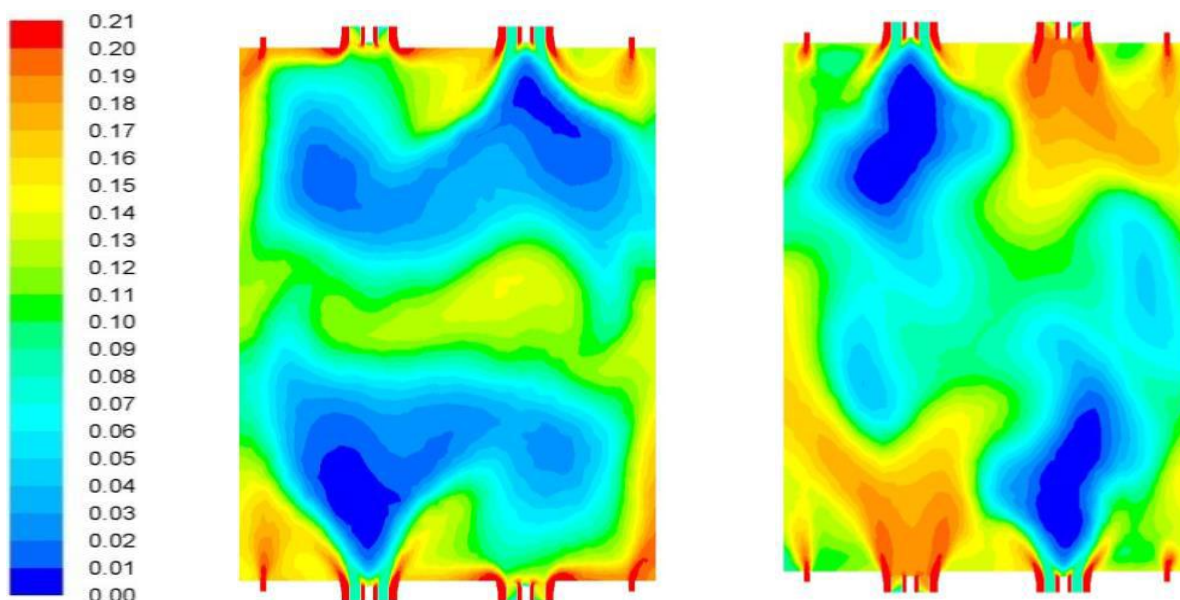


Рисунок 86 - Объёмная доля кислорода
на уровне 1-го ($Z = 11,11$ м) и 2-го ($Z = 13,9$ м) ярусов горелок

Максимальный уровень средних по сечению температур газов находится на уровне 1-го яруса горелок и составляет $850-900^{\circ}\text{C}$. В сечении перед ширмами ($Z=22,5$ м) средняя температура газов составляет 827°C , на выходе из топки: 751°C , что коррелирует с результатами теплогидравлического расчёта котла. Максимальные локальные температуры расположены между первым ярусом горелок и отметкой $Z=16$ м и составляют $1100-1300^{\circ}\text{C}$. Такой уровень температур является достаточным для воспламенения и стабильного горения назаровского и бородинского угля. К отметке $Z=22,5$ м поле температур выравнивается и становится симметричным относительно осей топочной камеры, чему способствует наличие аэродинамического выступа.

Поля концентрации дискретной фазы выше ярусов горелок неравномерны. Однако, несмотря на это, происходит активное выгорание угольной пыли, и механический недожог топлива на выходе из котла составляет не более $0,1\%$. Как можно видеть из полей объёмной доли кислорода, окислитель присутствует по всей высоте топочной камеры.

Интегральные показатели данного режима работы котла удовлетворяют технико-экономическим и экологическим требованиям:

1. $T_{г''} = 827 / 751^{\circ}\text{C}$ (отметка $Z=22,5$ м / выходное сечение топки);
2. $\text{NO}_x \leq 350$ мг/нм³;
3. $q_4 \leq 0,1\%$.

11 Системы очистки поверхностей нагрева

Для определения потенциальных зон шлакования экранов топки проведен анализ результатов математического моделирования с сопоставлением полей температур вблизи стен топочных экранов (рисунок 87) и концентрации дискретной фазы - золотопливных частиц (рисунок 88) в пристенной области на номинальных нагрузках котла.

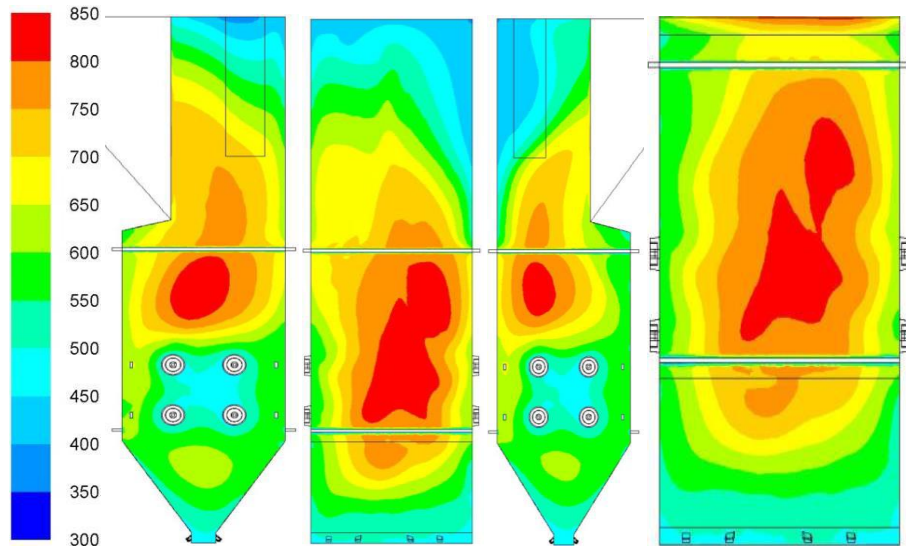


Рисунок 87 - Поля температур у стен топочной камеры, °С

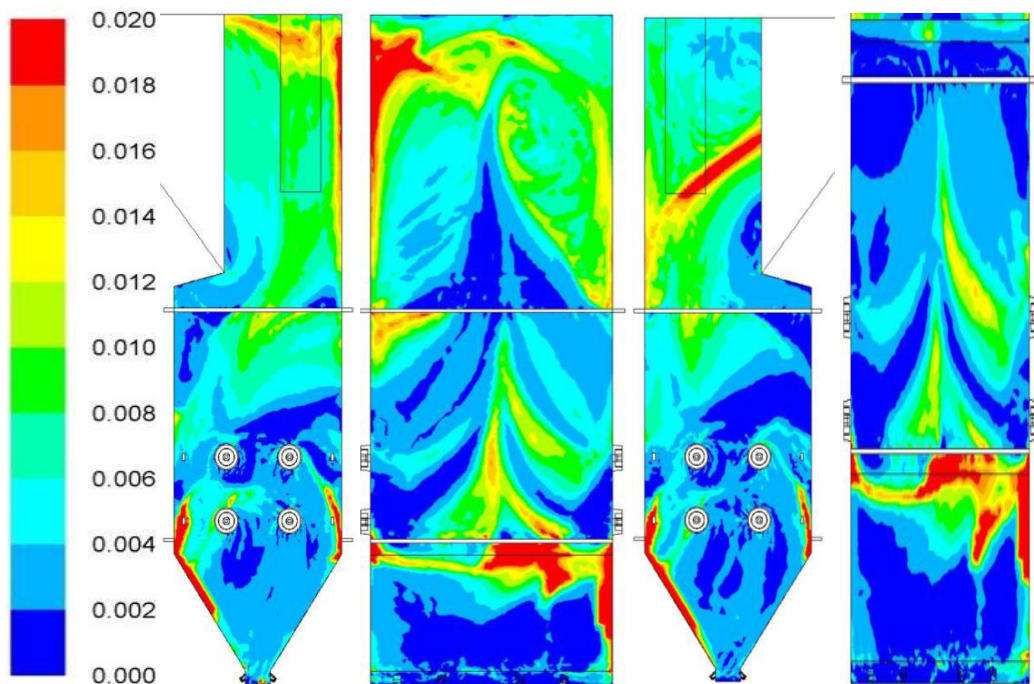


Рисунок 88 - Поля концентрации дискретной фазы у стен топочной камеры, кг/м³

Как видно из представленных полей температур и концентрации дискретной фазы, в разработанной схеме сжигания наличие сопел нижнего и пристенного дутья позволяют защитить стены топочной камеры от активного наброса золотопливных частиц на стены топочной камеры в зонах высоких температур.

Однако, поскольку Назаровский бурый уголь имеют высокую склонность к шлакованию поверхностей нагрева, предусмотрена установка аппаратов водяной очистки.

Для выбора места установки аппаратов водяной обдувки и оценки зон действия выделены 5 потенциальных зон с повышенными температурами вблизи стен (до 850°C), которые будут нуждаться в очистке больше всего.

Оценено, что наиболее подверженными шлакованию являются зоны фронтального и тылового экранов топки в районе ярусов основных горелок, а также незначительно скаты холодной воронки. Здесь совпадают поля повышенных температур (>750°C) и повышенной концентрации дискретной фазы (>0,01 кг/м³). К опасной, с точки зрения вероятности шлакования, можно отнести также всю поверхность экранов топки от отметки 2-го яруса горелок до нижней границы внутритопочных ширм.

11.1 Водяная обдувка экранов топочной камеры

Для обеспечения эффективной работы поверхностей нагрева, номинальной паропроизводительности котла и расчетных температур по газовому тракту с учетом шлакующих свойств Назаровского и Бородинского бурых углей предлагается установка на котле 4 аппарата водяной обдувки топочной камеры. Система водяной обдувки включает в себя, четыре дальнобойные водяные аппарата с насосной станцией.

Общий вид водяных аппаратов и насосной станции представлен на рисунках 89-90. В данном случае представлено оборудование фирмы Clyde



Рисунок 89 - Общий вид дальнобойного аппарата



Рисунок 90 - Общий вид насосной станции

Схема подключения системы аппаратов представлена в разделе объемно планировочных решений. На рисунке 91 нанесены зоны действия обдувочных аппаратов с учетом их взаимного перекрытия. На данной схеме зоны не попадающие в область действия аппаратов очерчены белым контуром.

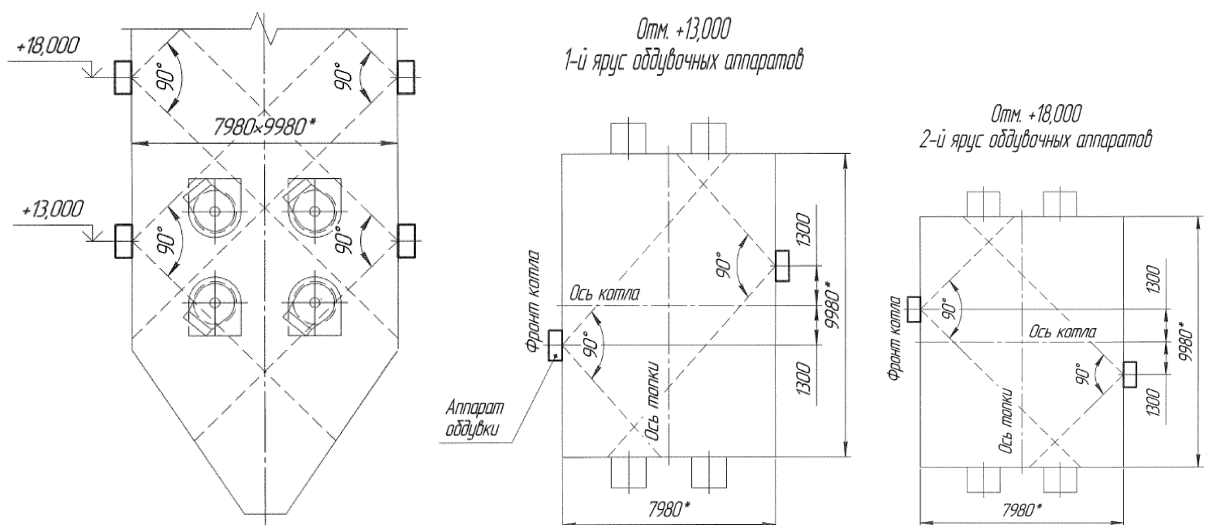


Рисунок 91 - Схема установки аппаратов обдувки

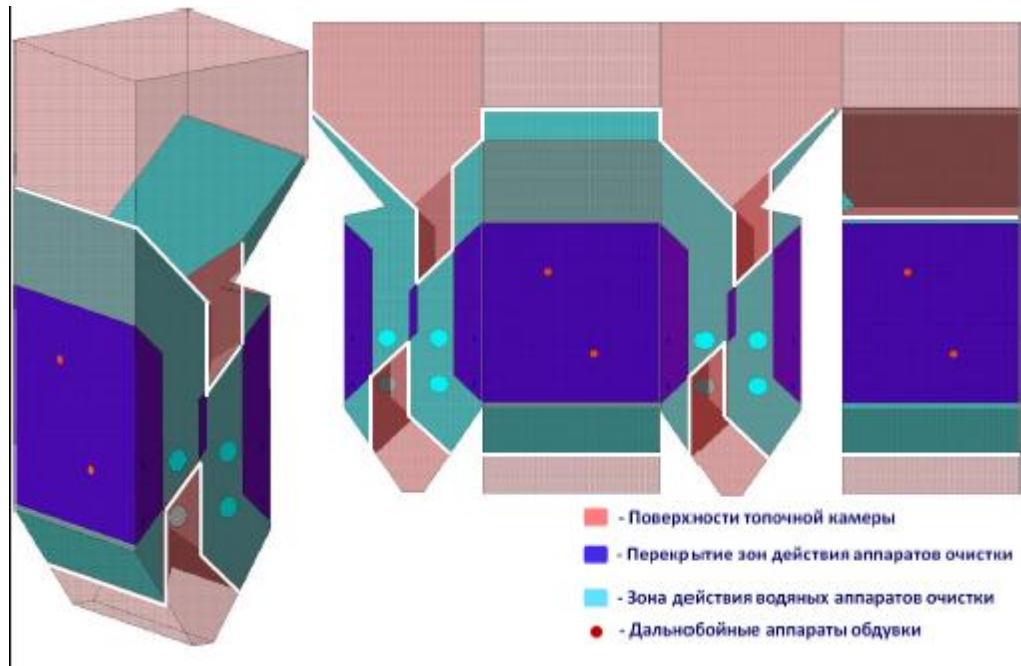


Рисунок 92 - Зоны действия аппаратов обдувки

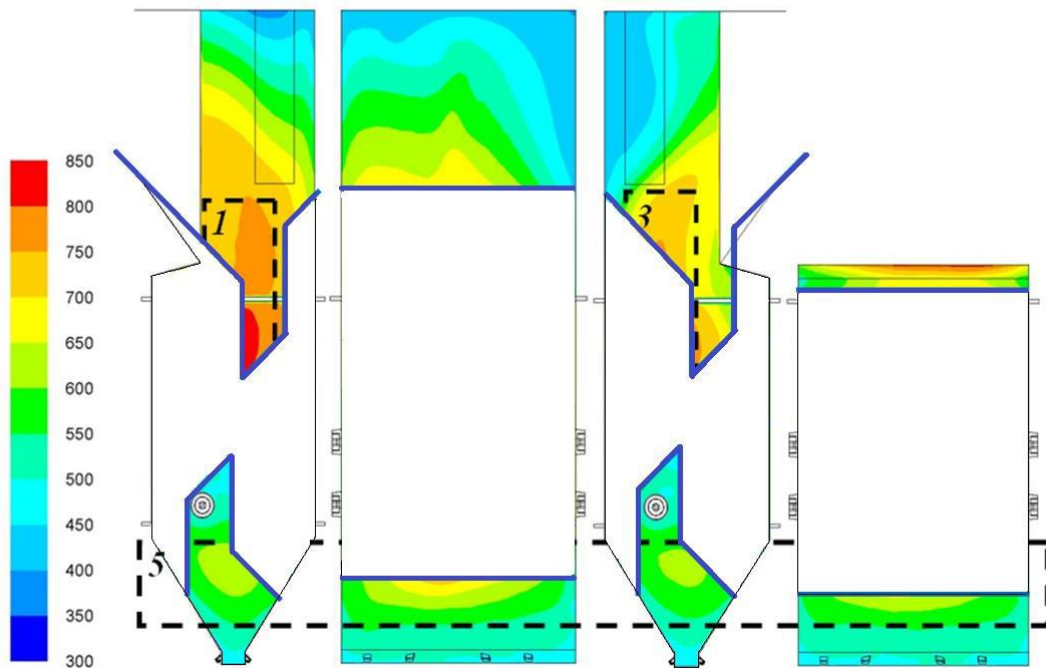


Рисунок 93 - Зоны действия аппаратов обдувки и поля температур у стен топочной камеры, не попадающие в зону обдувки, °С

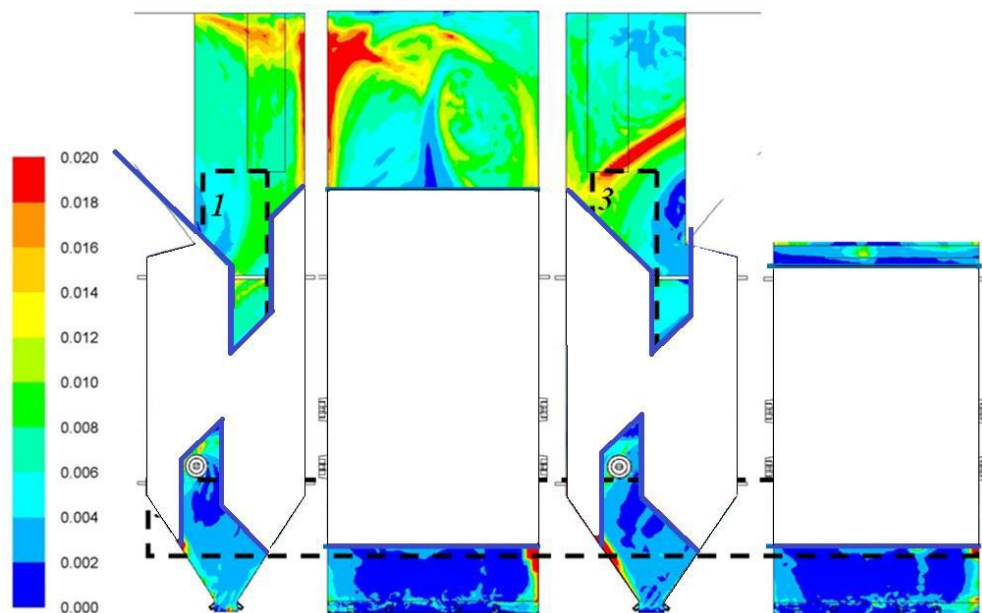


Рисунок 94 - Зоны действия аппаратов обдувки и концентрация дискретной фазы вблизи стен, не попадающие в зону обдувки, °С

Установка 4 аппаратов на фронтальной и задней стенах топки, в соответствии с разработанной схемой, позволит обеспечить качественную очистку экранов топки от начала скатов холодной воронки до аэродинамического выступа. Привод водяной пушки позволяет описывать змеевидную траекторию на противоположном экране. Наладка оборудования на работающем котле и программирование режима работы аппарата позволяют обеспечить обход струями воды горелок и сопел.



Рисунок 95 - Аппарат водяной обдувки и схема его работы

11.2 Паровая обдувка ширмовых поверхностей нагрева

Для надежной работы пароперегревателя необходимо:

- наладить и установить режим горения в топке с нормальным избытком воздуха и правильным положением факела в топке;
- не допускать повышенных (более расчетных) температур дымовых газов на выходе из топки и перед перегревателем путем поддержания правильного режима горения;
- производить регулярную обдувку поверхностей нагрева экранов топки и перегревателя;
- не допускать односторонней или неравномерной работы горелок (форсунок) и значительных температурных перекосов в топке и газоходе.

Исходя из результатов математического моделирования и тепловых расчетов котла, дополнительные внутритопочные ширмы находятся в зоне температур газов 1000-1050°C . В связи с этим необходима их периодическая очистка от золошлаковых отложений, также целесообразно проводить периодическую очистку ската существующих пакетов ШПП.

Дополнительно к системе водяной обдувки на котле проектом предусмотрена установка современного комплекса паровой обдувки ширмовых поверхностей нагрева (рисунок 96), 8 короткоходных аппаратов и 4 глубоководвижных аппарата (L=5100мм).

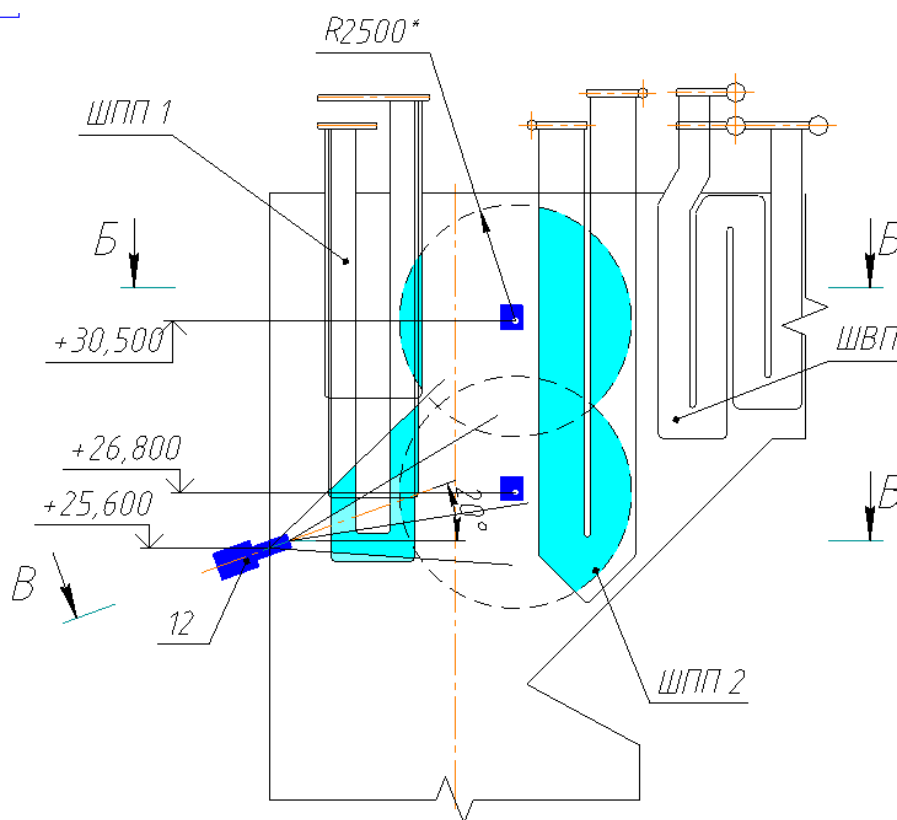


Рисунок 96 - Система паровой обдувки ширмовых поверхностей нагрева:
8 короткоходных аппаратов; 4 глубоководвижных аппарата

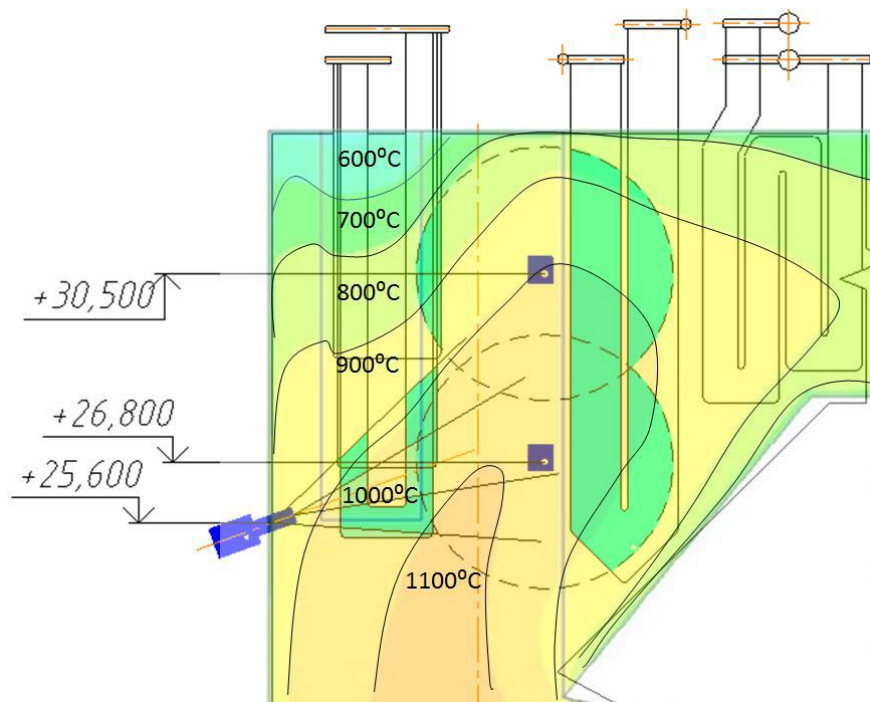
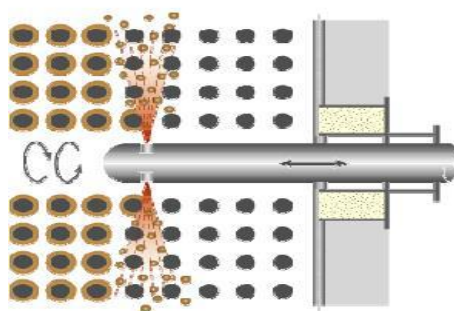
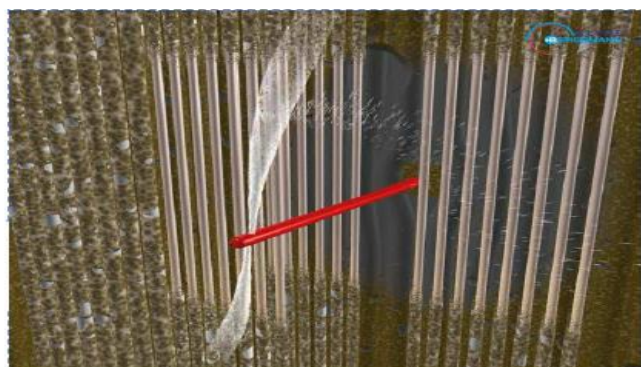


Рисунок 97 - Система паровой обдувки ширмовых поверхностей нагрева совместно с температурным полем



- Сопловая труба в состоянии покоя находится полностью за пределами газохода
- Возможно регулирование давления пара для очистки
- Возможность регулирования скорости выдвижения и вращения

Рисунок 98 - Схема работы глубоководного обдувочного аппарата очистки ширм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным ограничением мощности блока является сильное шлакование топки и ширмо-конвективных поверхностей нагрева при сжигании шлакующих назаровских углей, некачественная, несвоевременная работа обдувочных аппаратов, старое оборудование и элементы, которые уже давно исчерпали свой рабочий ресурс.

Данный вариант реконструкции был спроектирован и разработан по результатам проведенных обследований основного и вспомогательного оборудования, а также проведенным испытаниям котла ПК-38 можно сказать, что частично оборудование котла требует замены или проведения ряда ремонтно-восстановительных работ.

Совокупность указанных выше, технических решений (при условии реализации в полном объеме ремонтно-восстановительных работ с обеспечением нормативных присосов в газовый тракт котла) позволит достичь гарантированные показатели по номинальной паропроизводительности и существенно уменьшить шлакование поверхностей нагрева.

Технические и конструктивные решения разработаны с учетом обеспечения надежной работы котла, увеличения экономичности и маневренности котельной установки, а так же предусматривают принципиальную возможность их применения для других котлов типа ПК-38 Назаровской ГРЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Е.А. Бойко. Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. ФАО РФ ГОУВПО КГТУ 2005. – 97 с.
2. Ю.В. Вихрев. Эксплуатационная надежность поверхностей нагрева паровых котлов. Мирская энергетика, 1997. – № 4. с. 38-40
3. В.А. Локшин, Д.Ф. Петерсон, А.Л. Шварц. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Энергия. М. 1978. – 256 с.
4. Ю.В. Днепров, Д.Н. Смирнов, М.С. Файнштейн. Монтаж котельных установок малой и средней мощности. – М.: Высш. школа, 1980. – 334 с.
5. В.Л. Ерофеев, П.Д. Семенов, А.С. Пряхин. Теплотехника : Учебник для вузов. – М. : Академкнига, 2006. – 488с.
6. Ю.П. Корчевой, А.Ю. Майстренко. Пути модернизации и реконструкции пылеугольных котлоагрегатов тепловых электростанций // Новини енергетики. – 2000. – С.38–40.
7. А.Н. Лебедев. Подготовка и размол топлива на электростанциях. – М. : Энергия, 1969. – 520 с.
8. А.Ю. Майстренко, А.Н. Дудник, А.И. Топал. Сравнительный анализ технико-экономических показателей работы ТЭС, использующих чистые угольные технологии // Энергетика и электрификация. – 2007. – № 6. – С.1–3.
9. А.Г. Митрюхин. "Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС " , Изд-во СПбГТУРП, 2005.- 58 с.
10. А.Г. Прокопенко, И.С. Мысак. Стационарные, переменные и пусковые режимы энергоблоков ТЭС. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – 316 с.
11. В.Я. Рыжкин. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов/ Под ред. В.Я. Гиршвельда. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 448 с.
12. А.Г. Тумановский, В.Р. Котлер. О разработке угольного энергоблока с температурой перегрева 450°С. // Энергохозяйство за рубежом. – 2007. – № 3. – С.40–45.

13. В.А. Маляренко, Г.Б. Варламов, Г.Н. Любчик и др. Энергетические установки и окружающая среда – Харьков: ХГФГХ, 2002. – 397 с.
14. В.С.Вдовченко, М.И.Мартынова, Н.В.Новицкий, Г.Д.Юшина. справочник : Энергетическое топливо (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ) : Энергоатомиздат, 2001. – 184 с.
15. Завод им. Орджоникидзе. Основные направления деятельности // [Электронный ресурс] Режим доступа : [http : // www.aozio.ru/di-rection.jsp](http://www.aozio.ru/di-rection.jsp).
16. Котлы водогрейные [Электронный ресурс] Режим доступа : ([http : // www.ameta.ru/kot_water_t.php?id=34](http://www.ameta.ru/kot_water_t.php?id=34)).
- 17.Котлы водогрейные средней мощности [Электронный ресурс] Режим доступа : [http : // www.polisplus.ru/catalog/kotel/don-z](http://www.polisplus.ru/catalog/kotel/don-z)
- 18.Назаровская ГРЭС [электронный ресурс] Режим доступа : [http : // www.rosteplo.ru](http://www.rosteplo.ru)