

Хуторненко Сергей Николаевич

Разработка альтернативной схемы включения поверхностей нагрева
газового подогревателя конденсата котла-утилизатора, предназначенного
для работы в схеме энергоблоков работающих по комбинированному циклу

05.14.14 – Тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И.Ползунова» на кафедре «Котло- и реакторостроения»

Научный руководитель

Кандидат технических наук, профессор, Фурсов Иван Дмитриевич

Научный консультант

Доцент, Пронь Геннадий Петрович

Официальные оппоненты:

Ведущая организация –

Защита состоится ____ ____ 2015 года в ____ на заседании диссертационного совета Д _____ по адресу: _____.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке _____.

Автореферат разослан ____ ____ 2015 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы обусловлена тем, что согласно энергетической стратегии России одним из целевых показателей программы модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года является увеличение установленной мощности газовых ТЭС с применением передовых технологий на основе ПГУ с 6600 до 50900 МВт. Вместе с тем изучение возможности снижения затрат электроэнергии на собственные нужды несмотря на большое количество литературы, не получило до настоящего времени подробного освещения ни в российских, ни в зарубежных работах.

Целью работы является выявление тех основных групп факторов, которые влияют на процесс повышения эффективности энергоблоков ПГУ посредством оптимизации тепловых схем котлов-утилизаторов.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые получены и выносятся на защиту следующие наиболее важные результаты:

1. Разработана альтернативная схема включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата (ГПК) котла-утилизатора предназначенного для работы в составе энергоблока ПГУ.
2. Исследованы режимы работы газового подогревателя конденсата с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева.
3. Эмпирическим путём получены расчётные формулы для определения относительного тепловосприятия поверхностей нагрева в зависимости от определённых исходных данных (тепловая нагрузка водоводяного теплообменника, температура конденсата на входе в котёл-утилизатор).
4. Разработан алгоритм теплового расчёта поверхностей нагрева для включения по альтернативной схеме.

Методы исследования: расчетно-аналитические, экспериментальные методы, математического моделирования.

Практическая значимость работы. Полученные в ходе

исследования эмпирические зависимости и разработанный алгоритм позволяет выполнить тепловой и конструктивные расчёты элементов тракта газового подогревателя конденсата и определить эксплуатационные характеристики исследуемого элемента.

С помощью математического моделирования подтверждено, что предлагаемая схема применима как для энергоблоков с теплофикацией, так и для энергоблоков, работающих по циклу КЭС. В качестве примеров были разработаны и исследованы две схемы газовых подогревателей конденсата для энергоблоков различной мощности.

Результаты работы использованы в учебном процессе АлтГТУ для подготовки студентов дневной формы обучения и магистрантов по специальности 140502 – «Котло-реакторостроение».

Личный вклад автора. Автором выполнен обзор существующих схем энергоблоков ПГУ, сделан анализ степени изученности вопроса касательно повышения эффективности производства электроэнергии за счёт снижения затрат электроэнергии на собственные нужды и на основании этого поставлена задача исследования; разработана альтернативная схема включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата с возможностью исключения насосов рециркуляции; разработана математическая модель тракта газового подогревателя конденсата и выполнено исследование эксплуатационных характеристик данной схемы; определены эмпирические зависимости относительного тепловосприятия поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата в зависимости от определённых исходных данных (относительная тепловая нагрузка водоводяного теплообменника и температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор); разработан алгоритм теплового расчёта тракта газового подогревателя конденсата.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы обосновывается использованием разработанных методик (основанных на экспериментальных данных и нормативных методах), фундаментальных

закономерностей технической термодинамики, гидрогазодинамики, теплопередачи. Математическое моделирование выполнено применением лицензионного сертифицированного программного продукта Boiler Designer хорошо себя зарекомендовавшем при решении ряда других задач подобного рода.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на научно-практических конференциях АлтГТУ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 печатных работы, из них: 4 научных статьи – в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы (из __ наименования) и приложений. Основной текст изложен на __ страницах, содержит __ рисунка, __ таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследования, определены научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе выполнен обзор схем существующих энергоблоков работающих по комбинированному циклу, рассмотрены особенности теплового расчёта котлов-утилизаторов, определены возможности снижения затрат электроэнергии на собственные нужды путём оптимизации тепловой схемы котла-утилизатора.

На основании проведенного анализа сформулированы задачи исследования:

1. Разработка математической модели котла-утилизатора для энергоблока ПГУ для проведения исследований,
2. Разработка альтернативной схемы включения поверхностей нагрева ГПК,

3. Определение зависимостей величин относительного тепловосприятия поверхностей нагрева от критериев известных в начальный момент проектирования,

4. Проверка возможности применения альтернативной схемы ГПК для энергоблоков различных мощностей,

5. Проверка адекватности математической модели,

6. Сравнение полученных результатов при математическом моделировании с результатами испытаний действующих энергоблоков.

Во **второй главе** приводится описание котла-утилизатора предназначенного для работы в составе ПГУ-230 на базе которого выполняются основные исследования. Разработана альтернативная схема ГПК с исключением системы рециркуляции конденсата и, соответственно, насоса рециркуляции. Дано описание и принцип работы газового подогревателя конденсата с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева.

В **третьей главе** изложены методы исследования.

При выполнении работы применялось математическое моделирование тепловых процессов и исследование экспериментальных данных полученных на реальном действующем оборудовании энергоблоков ПГУ.

В **четвёртой главе** выполнено исследование режимов работы ГПК с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева с определением зависимостей относительного тепловосприятия ступеней ГПК от определённых исходных данных (относительное тепловосприятие водородяного теплообменника и температура конденсата на входе в котёл-утилизатор).

Основной идеей рассматриваемой в диссертационном исследовании схемы является введение промежуточной ступени для предварительного подогрева части конденсата и смешением с основным конденсатом перед

подачей в КУ. Для этого потребовалось разделить всю поверхность нагрева ГПК на три ступени:

1. Входная по конденсату ступень – ГПК1;
2. Промежуточная ступень для подогрева конденсата – ПромСТ;
3. Выходная по конденсату ступень – ГПК2

Принципиальная гидравлическая схема ГПК и схема расположения поверхностей нагрева в газоходе приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

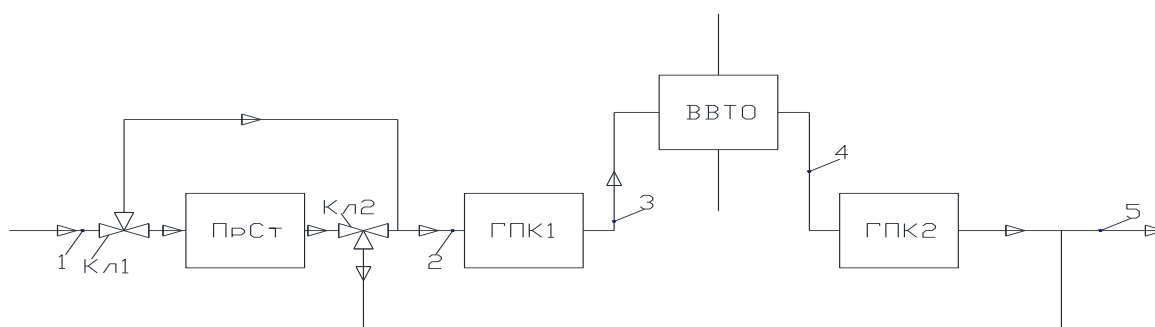


Рисунок 1 – Гидравлическая схема ГПК

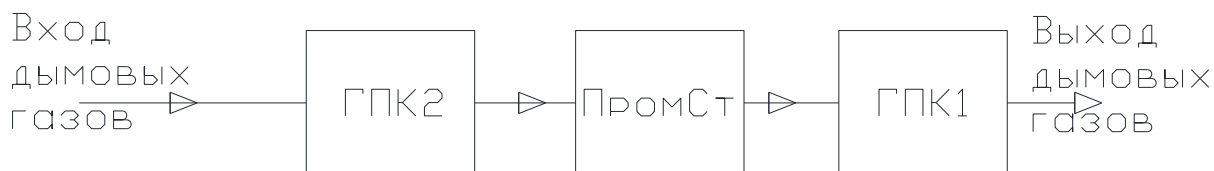


Рисунок 2 – Схема газового тракта ГПК

Движение рабочей среды (конденсата) в тракте ГПК происходит следующим образом. Основная часть холодного конденсата идет во входную ступень (ГПК1), параллельно входному трубопроводу включена промежуточная ступень (ПромСТ) в которой осуществляется подогрев конденсата. Тепловая нагрузка промступени при этом равна количеству энергии необходимой для подогрева всего количества конденсата перед подачей в ГПК1 до температуры не ниже 60 °С. Регулирование расхода

конденсата через промежуточную ступень, соответственно и тепловой нагрузки этой ступени, осуществляется посредством установки трехходового клапана на входе (Кл1). Далее подогретый конденсат в промступени и холодный конденсат смешиваются перед входом в ГПК1, далее конденсат с температурой 60 °С поступает в ГПК1. Конденсат после подогрева в ГПК1 направляется в водо-водяной теплообменник (ВВТО), где происходит нагрев сетевой воды. Для окончательного нагрева перед подачей в деаэратор конденсат направляется в ГПК2. Традиционно в схемах ГПК предусматривают байпасную линию для поддержания недогрева до кипения. В общепринятых схемах ГПК осуществляется байпасирование холодного конденсата. В предлагаемой схеме байпасирование осуществляется не холодного, а частично подогретого в промступени конденсата. Такое технологическое решение обусловлено тем, что в режимах, когда температура конденсата за конденсатором паровой турбины приближается к 60 °С и выше, т.е. не требуется дополнительного подогрева, тепловая нагрузка, а соответственно и расход конденсата через промступень будет приближаться к нулю. Регулирование расхода конденсата через байпасную линию осуществляется с помощью трехходового клапан (Кл2). Основные результаты теплогидравлического расчёта тракта ГПК с применением рассматриваемой схемы сведены в таблицу 1.

Таблица 1 Основные результаты расчётов тракта ГПК с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева

Параметры	Единицы измерения	ГПК2	ПромСт	ГПК1
ПАРАМЕТРЫ ГРЕЮЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ				
Тепло, воспринятое от газов по балансу	кВт	26185,96	11198,68	18285,96
Температура газов на входе	°С	194	148	128
Температура газов на выходе	Градус	148	128	96
ПАРАМЕТРЫ НАГРЕВАЕМОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ				
Расход среды	т/ч	277,67	146,08	277,67
Температура на входе	°С	75	25	60
Температура на выходе	°С	155	91	116

По результатам теплогидравлических расчётов котла-утилизатора с применением альтернативной схемы ГПК построена Q-T диаграмма и представлена на рисунке 3 (на диаграмме показан только тракт ГПК).

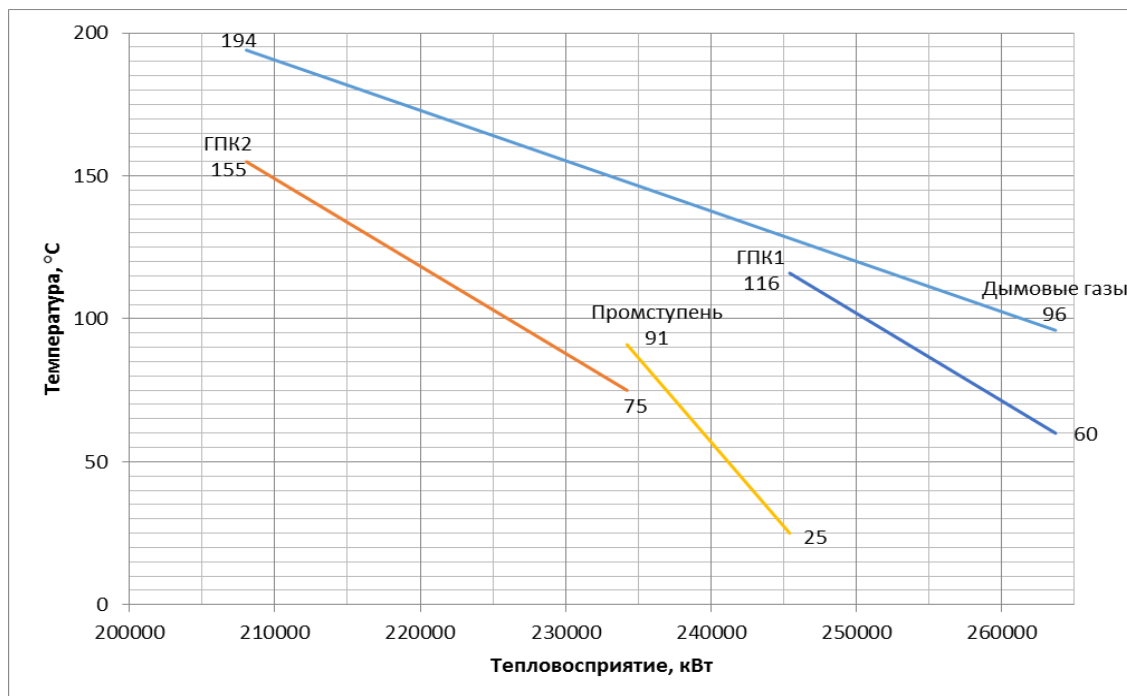


Рисунок 3 – Q-T диаграмма тракта ГПК

Для определения эксплуатационных характеристик предлагаемой схемы была выполнена серия расчётов с различными исходными данными. Результатом определения эксплуатационных характеристик являются полученные зависимости относительного тепловосприятия ступеней от определённых исходных данных (относительное тепловосприятие ВВТО и температура конденсата на входе в котёл-утилизатор).

На рисунке 4 приведено семейство кривых отображающих зависимости относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО при различных значениях температуры конденсата на входе в КУ.

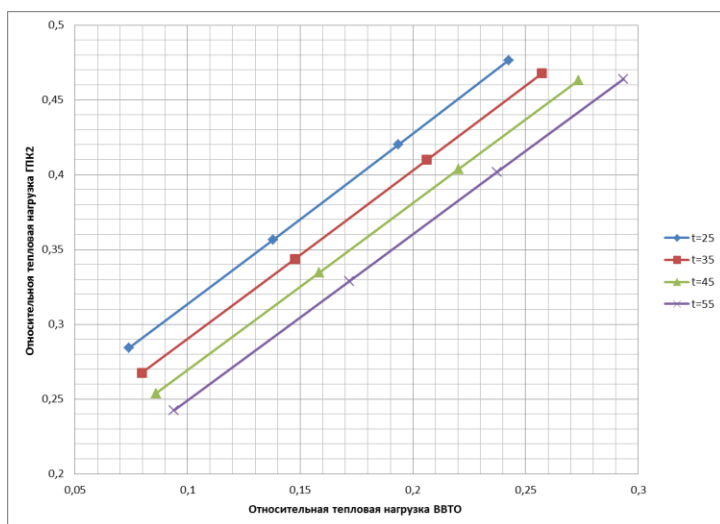


Рисунок 4– Зависимость относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО при различных температурах конденсата на входе в КУ

Анализ графиков зависимости относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО показывает, что данная зависимость носит линейный характер при всех значениях температуры конденсата, т.е. функция имеет вид

$$q_{\text{ГПК2}} = k \cdot q_{\text{ВВТО}} + b \quad (1)$$

Отыскание коэффициентов k и b при различных температурах конденсата выполнялось с помощью метода наименьших квадратов, значения этих коэффициентов приведено в таблице 2

Таблица 2 Значения коэффициентов k и b в зависимости от температуры конденсата на входе в КУ

Параметр/коэффициент	Значение			
	25	35	45	55
Температура конденсата, °C	25	35	45	55
Коэффициент k	1,1415	1,1268	1,1159	1,1103
Коэффициент b	0,1997	0,1778	0,1579	0,1381

Поскольку коэффициенты k и b являются функциями температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор, то для вывода универсальной зависимости относительной нагрузки ГПК2 потребуется найти решения следующих функций:

$$k = f_1(t_k)$$

$$b = f_2(t_k)$$

Где t_k – температура конденсата на входе в котёл-утилизатор.

Для удобства определения типов функций описывающих зависимости изменения коэффициентов k и b от температуры конденсата на входе в КУ построены графические зависимости, представленные на рисунках 5 и 6 соответственно.

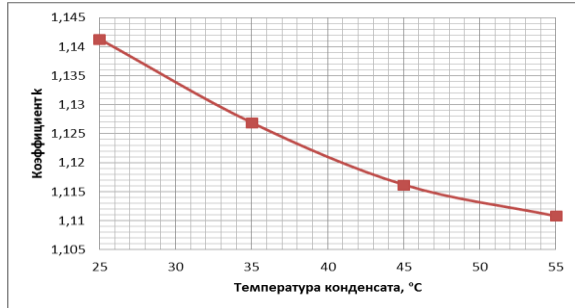


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента k от температуры конденсата на входе в КУ

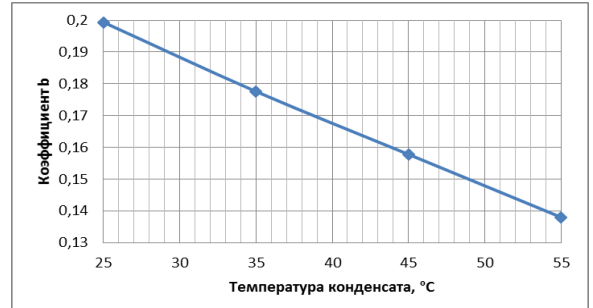


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента b от температуры конденсата на входе в КУ

Из анализа рисунков 7 и 8 видно:

- 1) коэффициент k описывается полиномом второй степени и имеет вид:

$$k = a \cdot t_{\kappa}^2 - b \cdot t_{\kappa} + c \quad (2)$$

- 2) коэффициент b описывается линейной функцией и имеет вид:

$$b = n \cdot t_{\kappa} + m \quad (3)$$

Для определения неизвестных коэффициентов формулах приведённых выше метод наименьших квадратов, по результатам получена универсальная зависимость относительной нагрузки ГПК2 от относительной нагрузки ВВТО и температуры конденсата на входе в КУ:

$$q_{ГПК2} = (2,3 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\kappa}^2 - 0,0028 \cdot t_{\kappa} + 1,1979) \cdot q_{ВВТО} + (-0,002 \cdot t_{\kappa} + 0,25) \quad (4)$$

Аналогично были построены графические зависимости относительной нагрузки ГПК1 и промступени от относительной нагрузки ВВТО и температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор и представлены на рисунках 7 и 8 соответственно.

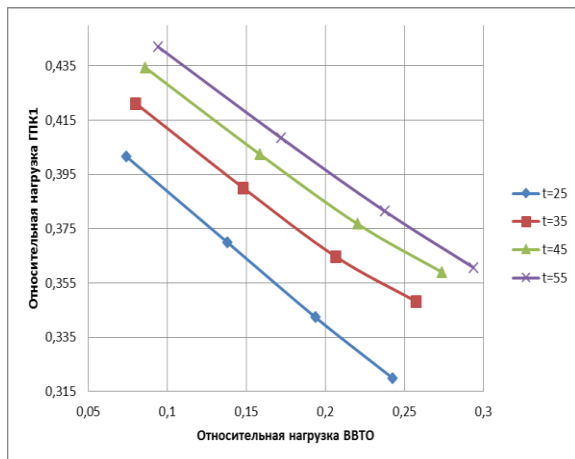


Рисунок 7 – Зависимость относительной нагрузки ГПК1 от относительной нагрузки ВВТО при различных температурах конденсата

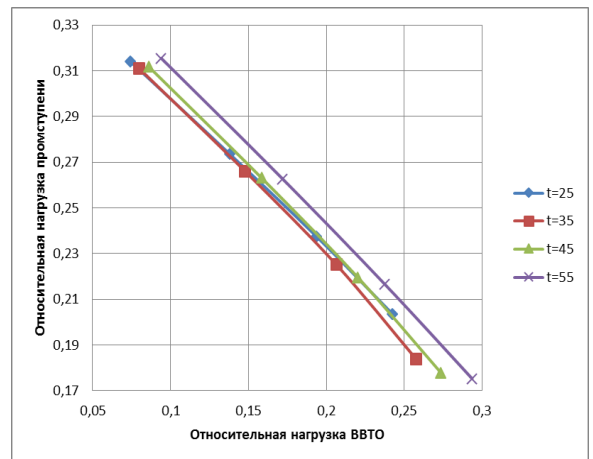


Рисунок 8 – Зависимость относительной нагрузки промступени от относительной нагрузки ВВТО при различных температурах конденсата

Из анализа рисунков 9 и 10 видно, что зависимость относительной нагрузки ГПК1 и промступени от относительной нагрузки ВВТО изменяется по различным законам в зависимости от температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор. Данное явление объясняется особенностью теплогидравлической схемы ГПК. Таким образом, сделан вывод, что данные величины целесообразно рассматривать совместно для определения общего подхода к решению поставленной задачи. Определение тепловосприятия по ступеням в данном случае возможно при одновременном решении тепловых и энергетических балансов по элементам. Ниже приведены универсальные зависимости относительной нагрузки ГПК1 и промступени в зависимости от относительной нагрузки ВВТО и температуры конденсата на входе в КУ.

Относительное тепловосприятие ГПК1:

$$q_{ГПК1} = \frac{D_k \cdot (h_{ГПК2}^{6yx} - h_{ГПК1}^{6x})}{Q_{ГПК}} - q_{ГПК2} + q_{ВВТО}$$

Относительное тепловосприятие промступени:

$$q_{ПромСт} = 1 - q_{ГПК1} - q_{ГПК2} = 1 - \frac{D_k \cdot (h_{ГПК2}^{6yx} - h_{ГПК1}^{6x})}{Q_{ГПК}} - q_{ВВТО}$$

Проработаны конструктивные решения касательно выбора диаметра труб для поверхности нагрева промступени. Для этого выполнена серия

тепловых расчётов с определением температуры стенки трубы, в качестве переменной величины при этом принят диаметр труб, составляющих поверхность нагрева, при прочих равных условиях. Для наглядности длина трубы была разделена на зоны (двадцать зон) и определены значения температур конденсата на выходе из каждой зоны и средняя температура металла в каждой зоне. Графической иллюстрацией результатов расчёта являются рисунки 9, 10, 11 и 12. Анализ рисунка 9 показывает следующее: несмотря на то, что промступень ГПК помещена в зону высоких температур всё равно существует опасность низкотемпературной коррозии из-за того, что температура стенки трубы находится ниже рекомендуемого диапазона температур (40-45 °С). При этом с увеличением диаметра трубы наблюдается увеличение температуры стенки трубы на начальных участках. Таким образом, сделан вывод, что при проектировании промступени для ГПК включенного по альтернативной схеме необходимо искать конструктивные решения, которые позволят снизить скорость нагреваемого теплоносителя во входной части промступени.

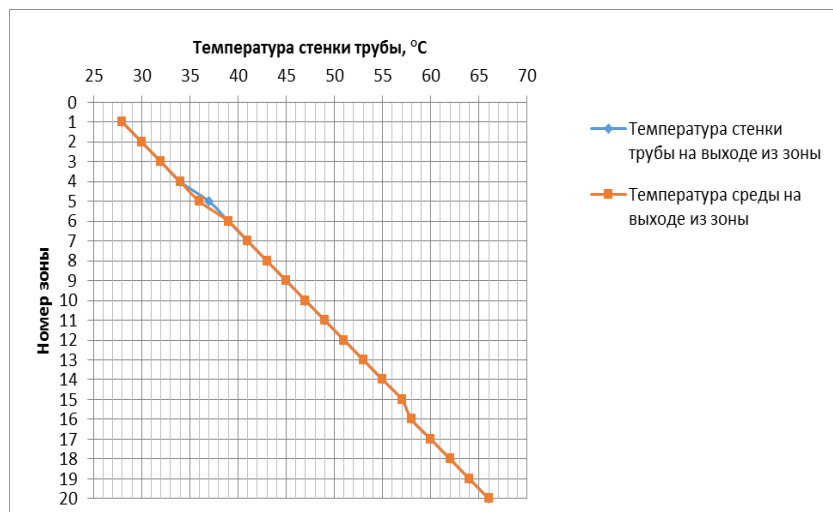


Рисунок 9 – Диаметр промступени 32 мм

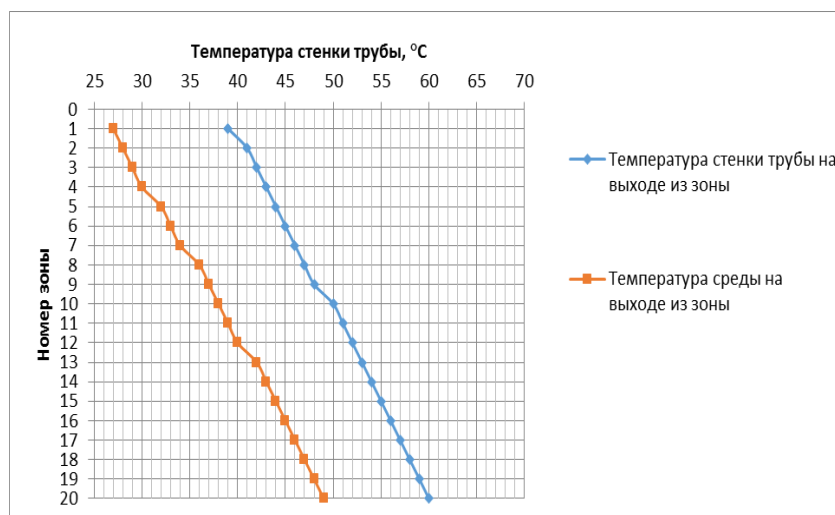


Рисунок 10 – Диаметр промступени 42 мм

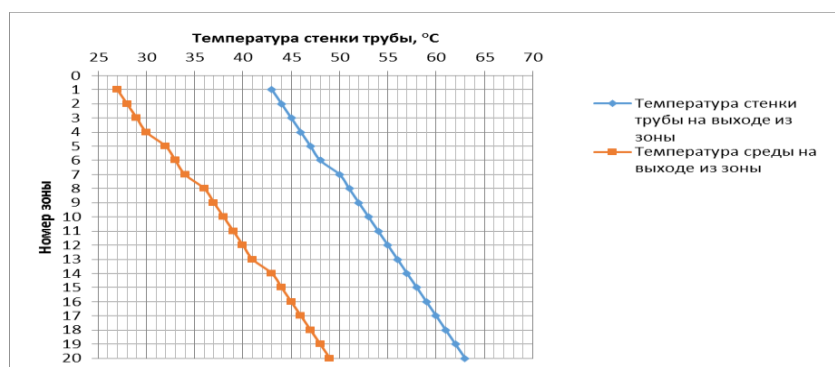


Рисунок 11 – Диаметр промступени 57 мм

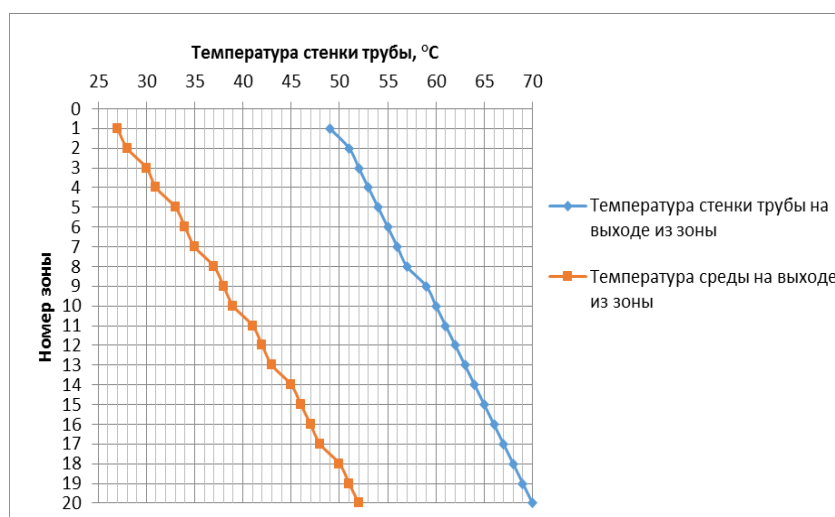


Рисунок 12 – Диаметр промступени 76 мм

В четвёртой главе в рамках обсуждения результатов исследований приводится в качестве примера разработка ГПК для двух действующих

котлов-утилизаторов. Поскольку исследования проводились для определённых условий (мощность энергоблока, температура конденсата на входе в деаэрактор, наличие ВВТО), то существует необходимость выполнить проверку возможности применения альтернативной схемы для иных условий. Для этого взяты за основу два действующих энергоблока с номинальной нагрузкой 110 МВт и 410 МВт.

В первом случае критерием определения возможности применения альтернативной схемы ГПК является сравнение результатов математического моделирования тепловых процессов протекающих в ГПК с применением различных схем. Результаты математического моделирования приведены в таблице 3. Анализ таблицы 3 показывает, основные технологические параметры (температура конденсата на входе в деаэрактор, тепловая нагрузка ВВТО) обеспечиваются в обоих случаях, таким образом сделан вывод, что применение альтернативной схемы в данном случае оправдано.

Таблица 3 Основные результаты расчётов трактов ГПК с применением схем с рециркуляцией и альтернативной схемы

Параметры	Единицы измерения	Альтернативная схема			Схема с рециркуляцией
		ГПК2	ПромСт	ГПК1	ГПК
ПАРАМЕТРЫ ГРЕЮЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ					
Расход сгоревшего топлива	кг / с	211,08	211,08	211,08	211,08
Тепло, воспринятое от газов по балансу	кВт	8699	917	11030	20725
Температура газов на входе	Градус	182	143	139	182
Температура газов на выходе	Градус	143	139	90	89
ПАРАМЕТРЫ НАГРЕВАЕВАЕМОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ					
Расход среды	т/ч	131,8	9,98	131,8	131,8
Энтальпия среды на входе	КДж/кг	434,09	228,44	253,51	
Энтальпия среды на выходе	КДж/кг	671,71	559,38	554,81	
Температура на входе	Градус	103	54	60	54 (до РЦ)* 60 (после РЦ)*
Температура на выходе	Градус	159	133	132	159
Расход конденсата на рециркуляцию	т/ч	-	-	-	45,78
Расход электроэнергии на привод насоса рециркуляции	кВт	-	-	-	23,8
Тепловая нагрузка ВВТО	кВт	4419,4			4419,4

Дополнительно к этому выполнена серия поверочных тепловых расчётов ГПК с применением альтернативной схемы, в качестве исходных данных так же приняты результаты математического моделирования ГПК включенного по схеме с рециркуляцией.

Таблица 4

Название		Размерность	Номер режима			
			1	2	3	4
Исходные данные						
Расход дымовых газов		т/ч	622,08	510,12	510,12	418,68
Температура дымовых газов		Градус	172	162	162	155
Состав дымовых газов						
	N2_объем	%	74,52	74,6	74,6	74,79
	O2_объем	%	12,75	12,98	12,98	13,53
	H2O_объем	%	8,18	7,97	7,97	7,47
	CO2_объем	%	3,67	3,56	3,56	3,31
	Ar_объем	%	0,89	0,89	0,89	0,89
Температура конденсата на входе в КУ		Градус	59	51	41	41
Расход конденсата		т/ч	112	96,9	98,4	80,9
Температура конденсата на входе в деаэратор		Градус	149	135	144	138
Тепловая нагрузка ВВТО		кВт	4384,51	3523,89	0	0
Результаты расчётов						
Тепловосприятие промступени		кВт	100,27	642,64	1215,48	986,24
Расход конденсата через промступень		т/ч	1,63	33,86	72,31	64,15
Температура конденсата на входе в промступень		Градус	59	51	41	41
Температура конденсата на выходе из промступени		Градус	112	67	55	54
Тепловосприятие ГПК1		кВт	8124,3	4465,43	6358,33	4674,83
Температура конденсата на входе в ГПК1		Градус	60	60	60	60
Расход конденсата через ГПК1		т/ч	112	92,24	88,65	73,23
Температура конденсата на выходе из ГПК1		Градус	122	102	121	115
Тепловосприятие ГПК2		кВт	7877,3	7451,59	3236,26	2660,95
Расход конденсата через ГПК2		т/ч	112	92,24	88,65	73,23
Температура конденсата на входе в ГПК2		Градус	89	69	121	115
Температура конденсата на выходе из ГПК2		Градус	149	138	152	145

Во втором случае для сравнения разработан ГПК предназначенный только для подогрева конденсата (без установки ВВТО). Результаты

математического моделирования с применением различных схем ГПК для данного случая приведены в таблице 5.

Таблица 5

		Альтернативная схема			Схема с рециркуляцией
Параметры	Единицы измерения	ГПК2	ПромСт	ГПК1	ГПК
ПАРАМЕТРЫ ГРЕЮЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ					
Расход сгоревшего топлива	кг / с	714,72	714,72	714,72	714,72
Тепло, воспринятое от газов по балансу	кВт	20269,52	16304,5	20763,93	57707,37
Температура газов на входе	Градус	157	130	109	157
Температура газов на выходе	Градус	130	109	81	81
ПАРАМЕТРЫ НАГРЕВАЕМОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ					
Расход среды	т/ч	414,15	227,36	414,15	414,15
Энтальпия среды на входе	КДж/кг	434,12	111,9	253,63	110
Энтальпия среды на выходе	КДж/кг	610,31	370,07	434,12	610,8
Температура на входе	Градус	103	26	60	26
Температура на выходе	Градус	145	88	103	145
Расход конденсата на рециркуляцию	т/ч	0			164,32
Расход электроэнергии на привод насоса рециркуляции	кВт	0			3,68

На основе разработанного ГПК выполнено сравнение результатов математического моделирования тепловых процессов, протекающих в тракте ГПК включенного по альтернативной схем, с результатами испытаний ГПК включенного по традиционной схеме. В качестве исходных данных для математического моделирования (расход и температура конденсата на КУ, температура, состав и расход дымовых газов на входе в ГПК) приняты результаты испытаний. Результаты математического моделирования и испытаний приведены в таблице 6. Результаты, приведённые в таблице 6, показывают, что предлагаемая в диссертационном исследовании схема может быть применена для данного котла-утилизатора.

Таблица 6

Параметр	Размерность	Результаты испытаний	Результаты поверочного расчёта
		Значение	
Расход дымовых газов на входе в ГПК	кг/с	726,9*	
Температура конденсата на входе в КУ	°C	57*	
Температура конденсата перед деаэратором	°C	151*	151
Расход конденсата	т/ч	387*	
Температура дымовых газов на входе в ГПК	°C	160*	
Температура конденсата на входе в ГПК	°C	60	60
Температура конденсата до смешения с байпасом	°C	156	157
Температура дымовых газов на выходе из КУ	°C	103	105
Расход конденсата на рециркуляцию	т/ч	11,7	-

Выводы

К основным выводам по диссертации относятся:

1. Исследованы эксплуатационные характеристики газового подогревателя конденсата с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева;
2. Эмпирическим путём определены универсальные зависимости относительного тепловосприятия ступеней ГПК от относительного тепловосприятия ВВТО и температуры конденсата на входе в котёл-утилизатор;
3. Приведены рекомендации по выбору оптимального диаметра труб промступени;
4. Разработан алгоритм теплового расчёта ГПК включенного по альтернативной схеме;
5. Выполнена проверка возможности применения альтернативной

схемы на примере действующих котлов-утилизаторов различной мощности;

6. Проработаны компоновочные решения размещения элементов ГПК с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева на примере котла-утилизатора для энергоблока мощностью 110 МВт;

7. Приводится сравнение результатов натурных испытаний котла-утилизатора для энергоблока ПГУ-410 ТЭЦ (традиционная схема ГПК) с результатами математического моделирования ГПК включенного по альтернативной схеме.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук

1. Хуторненко С. Н. Котлы-утилизаторы, предназначенные для работы в составе энергоблоков ПГУ / С. Н. Хуторненко, И. Д. Фурсов, Г. П. Пронь // Ползуновский вестник. 2013.— № 4/3.— с. 117 - 122.

2. Хуторненко С. Н. Математическое моделирование котла-утилизатора, предназначенного для работы в составе энергоблока ПГУ-230 / С. Н. Хуторненко, И. Д. Фурсов, Г. П. Пронь // Ползуновский вестник. 2013.— № 4/3.— с. 190 - 193.

3. Хуторненко С. Н. Разработка альтернативной схемы включения поверхностей нагрева газового подогревателя конденсата для котла-утилизатора / С. Н. Хуторненко, И. Д. Фурсов, Г. П. Пронь // Вестник алтайской науки. 2014.— № 4.— с. 350 - 352.

4. Хуторненко С. Н. Исследование режимов работы газового подогревателя конденсата с применением альтернативной схемы включения поверхностей нагрева / С. Н. Хуторненко, И. Д. Фурсов, Г. П. Пронь // Вестник алтайской науки. 2014.— № 4.— с. 346-349.

Отпечатано в типографии