

110

Министерство топлива и энергетики РФ

Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт (ВИИ)

На правах рукописи

ЕРШОВ Юрий Борисович

УДК 662.61:620.193.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ  
КОМПОНЕНТОВ ТОНЧНЫХ ГАЗОВ И РАЗРАБОТКА  
МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ  
КОРРОЗИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛОВ  
ПРИ СЖИГАНИИ "СОЛЕННЫХ" УГЛЕЙ

05.04.01 - Котлы, парогенераторы и камеры сгорания

А в т о р е ф е р а т

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва, 1993

Работа выполнена во Всероссийском теплотехническом научно-исследовательском институте (ВТИ).

Научный руководитель: доктор технических наук Ю.П.Енякин  
Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Л.И.Кропп  
кандидат технических наук  
П.В.Росляков

Ведущее предприятие: ОРГРЭС

Защита диссертации состоится "10" 11.02.93 1993 г.  
в 14 час на заседании специализированного совета Д144.02.01  
во Всероссийском теплотехническом научно-исследовательском  
институте.

Отзыв об автореферате в двух экземплярах, подписанный и  
скрепленный печатью учреждения, просим направить по адресу:  
109280, Москва, Автозаводская ул., 14/23, ВТИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.  
Автореферат разослан "7" 11.02 1993 г.

Ученый секретарь специали-  
зированной совета, к.т.н.

П.А.Березинец

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. В настоящее время до 28% электроэнергии в СНГ вырабатывается на электростанциях при использовании твердого топлива. Для производства электроэнергии целесообразно сжигать угли невысокого качества, к ним, в частности, относятся бурные "соленые" угли Тургайского бассейна, Западного Донбасса и Нижне-илийского месторождения. По запасам и условиям добычи они уже в обозримом будущем могут быть вовлечены в топливно-энергетический баланс СНГ. Техничко-экономические расчеты показывают возможность строительства только в районе Тургайского бассейна (Северо-Западный Казахстан) четырех электростанций общей энергетической мощностью 16000 МВт.

"Солеными" называют угли с повышенным содержанием хлора и натрия. В отечественной энергетике эти угли до настоящего времени не использовались, тогда как за рубежом накоплен значительный опыт сжигания в котлах подобного топлива. Экономичное и надежное сжигание в котлах "соленых" углей связано с решением двух основных проблем: интенсивным шлакованием и высокотемпературной коррозией поверхностей нагрева. Скорость коррозии в зависимости от содержания хлора в угле и способа сжигания может достигать нескольких миллиметров в год.

В этой связи особую актуальность приобретает выбор технологии и разработка высоконадежной конструкции котла для сжигания углей с высоким содержанием хлора.

При сжигании "соленых" углей основным коррозионноактивным компонентом является хлористый водород, образующийся в продуктах сгорания. Хлористый водород диффундирует к поверхности труб и вступает во взаимодействие с металлом. Образующиеся соединения хлора неустойчивы при температурах выше 300°C, испаряясь, они разрушают оксидную пленку и открывают доступ к металлу агрессивным компонентам топочных газов.

К числу недостаточно изученных вопросов прежде всего следует отнести качественные и количественные зависимости процесса образования хлористого водорода от таких основных факторов, как: температура факела, коэффициент избытка воздуха, содержание хлора в угле, время пребывания частиц в факеле, состав минеральной части угля.

Цель работы. На основе изучения процесса образования в пылеугольном факеле хлористого водорода разработать методы снижения коррозии, повысить надежность высокотемпературных поверхностей нагрева котлов при сжигании "соленых" углей.

Методы научных исследований, используемые в работе, - теоретическое и экспериментальное исследования коррозионных процессов на расчетной модели, стендовой установке и промышленном котле.

Научная новизна работы заключается в:

- апробация применительно к горению угля программы термодинамических расчетов равновесных состояний компонентов продуктов сгорания;
- разработке методики определения концентрации хлористого водорода в топочных газах;
- исследовании динамики образования хлористого водорода в пылеугольном факеле;
- исследовании влияния на процесс образования хлористого водорода температуры факела, коэффициента избытка воздуха, содержания хлора в угле, времени пребывания частиц в факеле, состава минеральной части угля;
- установлении характера изменения концентрации хлористого водорода по газовому тракту котла;
- получении аналитических зависимостей глубины коррозии стали I2XIMФ от температуры металла и продолжительности эксплуатации котла при сжигании "соленого" угля.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- предлагается для использования применительно к горению угля метод термодинамического анализа процессов образования и границ существования соединений в газовой и конденсированной фазах топочного факела в зависимости от заданных условий горения;
- предлагается к использованию в экспериментальных и промышленных условиях методика определения концентрации хлористого водорода в топочных газах;
- по результатам промышленных испытаний установлены аналитические зависимости глубины коррозии стали I2XIMФ от температуры металла и продолжительности эксплуатации котла при сжигании "соленого" угля;

- разработаны для использования проектными организациями рекомендации по снижению высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева и выбору оптимальной конструкции котла для сжигания углей с высоким содержанием хлора.

Реализация. В диссертации представлены результаты исследования причин высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева котла БКЗ-500-140-1 Красноярской ТЭЦ-2 при проведении опытного сжигания партии (80 тыс.т) призерного угля (Тургайский бассейн).

Автор защищает: методику и результаты термодинамического анализа процессов образования хлорсодержащих компонентов в газовой и конденсированной фазах продуктов сгорания "соленых" углей;

- методику определения концентрации хлористого водорода в топочных газах;

- результаты исследования на экспериментальной установке процесса образования хлористого водорода в пылеугольном факеле;

- результаты промышленных исследований причин высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева и характера изменения концентрации хлористого водорода по газовому тракту котла при сжигании "соленого" угля;

- математические выражения для определения глубины коррозии поверхностей нагрева из стали 12Х1МФ в зависимости от температуры металла и продолжительности эксплуатации котла при сжигании "соленого" угля;

- рекомендация по снижению высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева и выбору оптимальной конструкции котла для сжигания углей с высоким содержанием хлора.

Апробация работы. Основные материалы и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: советско-голландском семинаре по горению и газификации угля, ИВТ АН СССР, Москва, 1990; Всесоюзной конференции "Проблемы использования канско-ачинских углей в энергетике, Красноярск, 1991; семинаре по горению, ВТИ, Москва, 1992.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 4 печатных работы, перечень которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 103 наименований, приложений и содержит 87 страниц машинописного текста, 8 таб-

лиц и 50 иллюстраций.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и аннотированы основные положения работы.

В первой главе рассматривается современное состояние проблемы высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева котлов при сжигании углей с высоким содержанием хлора, приведен обзор и анализ работ, посвященных этой проблеме, и формулируются задачи настоящего исследования.

Эмпирическим путем установлено, что скорость коррозии в данном случае зависит от содержания хлора в угле, температуры газов и поверхности металла труб, состава применяемых сталей. Среди исследователей нет единого мнения о механизме коррозии при сжигании "соленых" углей.

В то же время установлено, что основным коррозионно-активным компонентом продуктов сгорания в этом случае является хлористый водород. По данным исследований различных авторов следует, что в процессе горения содержащийся в угле хлор практически полностью реализуется в виде хлористого водорода на начальной стадии горения.

В литературе отсутствуют данные об установлении качественных и количественных зависимостей образования хлористого водорода в пылеугольном факеле. Автор в своей работе стремился восполнить имеющиеся пробелы на основании выполненных им теоретических, экспериментальных и промышленных исследований.

Поставленную задачу необходимо было решить в такой последовательности:

1. Термодинамические расчеты равновесных концентраций компонентов продуктов сгорания "соленых" углей.

2. Стендовые исследования по установлению закономерностей образования хлористого водорода в пылеугольном факеле в зависимости от температуры в ядре факела; времени пребывания частиц; коэффициента избытка воздуха; содержания хлора в угле; химического состава золы и присадки связывающих веществ.

3. Промышленные испытания с целью изучения поведения ко-  
льных сталей в среде продуктов сгорания "соленого" угля;  
пределенны скорости коррозии сталей в зависимости от их состава,  
температуры металла, концентрации хлористого водорода в га-  
зах, интенсивности шлакования и очистки.

4. Разработка рекомендаций по выбору конструкции котла для  
сжигания "соленых" углей.

Во второй главе приводятся результаты расчетов состава про-  
дуктов сгорания "соленых" углей в газовой и конденсированной  
азе пылеугольного факела. Для выполнения этой работы была ис-  
пользована автоматизированная система термодинамических данных  
расчетов равновесных состояний (АСТРА), созданная совместно  
информационно-вычислительным центром Института проблем материало-  
едения АН Украины и МГТУ.

В исходные данные для проведения расчетов закладывались  
ассовые доли составляющих элементов приозерного (Тургайский  
ассейн), новомосковского (Донбасс) и ниже-влийского углей,  
пределенны с помощью химических анализов. Количество воздуха  
адавалось массовыми долями от теоретически необходимого для  
орения. Состав окислителя аппроксимировался формулой  $N_{5,39}O_{14,48}A_{7,32}$   
выполненных расчетах значения коэффициента избытка воздуха  
ринимались от 0,3 до 1,3 с интервалом в одну десятую. Для наи-  
олее полного представления о зависимости изучаемых процессов  
т температуры среды расчеты выполнялись при ее значениях, равных  
00, 500, 700, 900, 1100, 1250, 1420 и 1550°C. Данные о составе  
азовой фазы выводились в объемных процентах, а конденсированной  
азы в массовых долях рабочего газа.

Из результатов расчетов следует, что хлористый водород  
редставляет собой одно из термодинамически наиболее устойчивых  
оединений. При всех рассматриваемых условиях концентрация таких  
лорсодержащих компонентов, как  $Cl$ ,  $Cl_2$ ,  $ClOH$  на несколько поряд-  
ов ниже, чем хлористого водорода.

Процесс образования хлористого водорода в продуктах сгора-  
дя "соленых" углей не зависит от химического состава минераль-  
ой части угля за исключением соединений щелочных металлов.

Максимальный уровень концентрации  $HCl$  ожидается в продуктах  
горания новомосковского угля - 0,125% ( $Cl_2 = 0,76\%$ ). При сжига-

нид ниже-илийского угля максимальная концентрация может достигать 0,045% ( $Cl^d = 0,58\%$ ), приозерного - 0,025% ( $Cl^d = 0,2\%$ ). Эти концентрации соответствуют максимальным температурам среды ( $1550^{\circ}C$ ) и наименьшему значению коэффициента избытка воздуха ( $\alpha = 0,3$ ). Следовательно, при организации топочного процесса необходимо обратить особое внимание на качество смесеобразования, применить такие горелочные устройства и схемы их расположения, которые позволили бы избежать появления в топочной камере зон с восстановительной средой.

Расчетами подтверждена возможность связывания хлористого водорода оксидом кальция. Определен состав продуктов сгорания приозерного угля, зола которого содержала 8% CaO (исходный состав), 20%, 30% и 40% CaO. Показано, что с увеличением CaO в золе до 20% термодинамическая устойчивость  $CaCl_2$  резко повышается. Процентное содержание связанного кальция хлора (от количества хлора, поступившего в систему) при этом увеличивается с 5% до 70%. Дальнейшее повышение количества оксида кальция в золе оказывается неэффективным.

Приведены результаты и анализ процессов образования таких серосодержащих соединений, как  $H_2S$ ,  $SO_2$  и  $SO_3$ , состава компонентов конденсированной фазы топочного факела при сжигании приозерного, новomosковского и ниже-илийского углей.

В третьей главе приводится описание стендовой установки, методики определения концентрации хлористого водорода в топочных газах.

Исследование процессов образования хлористого водорода проводилось в факеле, который образовывался в вертикальной реакционной камере из корундовой трубы диаметром 44 мм и длиной 1000 мм. С внешней стороны камера обогревалась графитовым электронагревателем. Пыль и нагретый воздух поступали в реакционную камеру через горелку, установленную в ее верхней части.

Анализ состава продуктов сгорания -  $O_2$ ,  $CO_2$ , CO проводился с помощью газосанализатора ГХП-100, концентрация  $HCl$  определялась по меркуриметрической методике, отработанной в серии предварительных опытов. Газы на анализ отбирались из реакционной камеры с помощью неохлаждаемого зонда из керамической трубки внутренним диаметром 4 мм, защищенной металлическим чехлом.



Конструкция стендовой установки предусматривала возможность установки горелок разной длины и перемещения зонда вдоль оси реакционной камеры.

В зависимости от цели проведения опытов выбиралась температура в факеле в диапазоне от  $1250^{\circ}\text{C}$  до  $1550^{\circ}\text{C}$  и коэффициент избытка воздуха (0,3-1,3).

Зола и недогоревшая пыль анализировались на содержание в них горючих и хлора. Это позволило свести баланс распределения хлора угля между газовой и твердой фазой факела с погрешностью в 10%.

Опыты проводились при сжигании пыли приозерного угля следующего состава:  $A^d = 23,9\%$ ;  $C^d = 56,0\%$ ;  $H^d = 3,8\%$ ;  $O^d = 14,6\%$ ;  $N^d = 1,0\%$ ;  $S^d = 0,7\%$ ;  $Cl^d = 0,21\%$ .

Исследован процесс газообразования в пылеугольном факеле в зависимости от максимальной температуры факела и времени пребывания в нем частиц ( $\alpha = 1, 2$ ). Горение пыли при  $T_{max} = 1250^{\circ}\text{C}$  заканчивалось через 0,69 секунды. С ростом температуры факела от  $1420^{\circ}\text{C}$  до  $1550^{\circ}\text{C}$  время выгорания снижалось с 0,6 до 0,48 с. Код кривых образования  $CO_2$  и расходования  $O_2$  (рис. 1) во всех случаях подобен и характеризует интенсивность выгорания частиц пыли.

Процесс образования хлористого водорода в факеле отличался большей динамичностью. Переход хлора в газовую фазу для всех значений  $T_{max}$  шел со скоростью, превышающей скорость выгорания угольных частиц и заканчивался через 0,43-0,48 с. Интервал времени, в котором завершался процесс образования  $HCl$ , слабо зависел от температуры факела.

Установлена зависимость концентрации хлористого водорода от температуры в факеле. Повышение  $T_{max}$  с  $1250^{\circ}\text{C}$  до  $1420^{\circ}\text{C}$  сопровождалось ростом максимальной концентрации  $HCl$  с 0,013% до 0,015%. Для  $T_{max} = 1550^{\circ}\text{C}$  эта величина на 30% превышала значение, определенное при  $T_{max} = 1250^{\circ}\text{C}$ , и равнялась 0,017%. Соответственно, доля перехода хлора в газовую фазу увеличивалась с 70% до 93%.

Экспериментально доказано, что снижение концентрации хлористого водорода в продуктах сгорания угля происходит в результате его взаимодействия с оксидом кальция золы. Процесс образо-

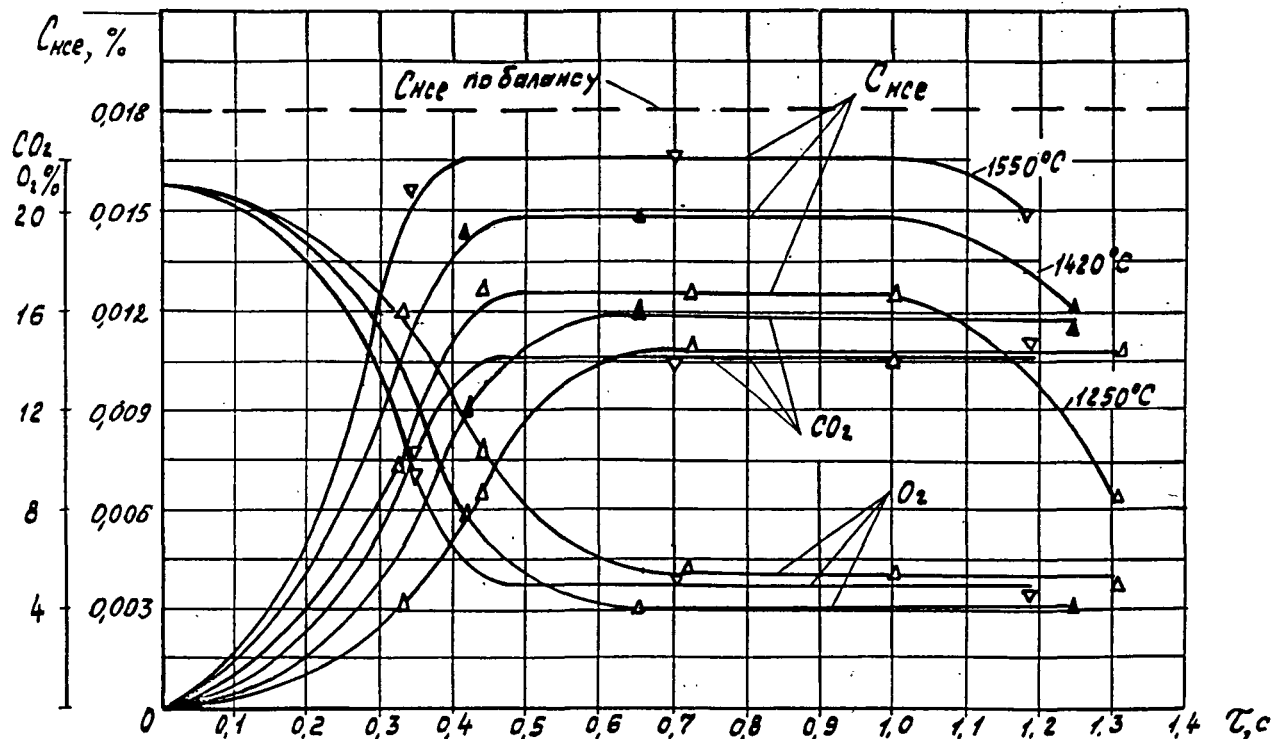


Рис. 1. Динамика образования хлористого водорода, диоксида углерода и расходования кислорода при различных температурных уровнях факела ( $\alpha = 1,2$ )

вания  $CaCl_2$  начинался при времени пребывания частиц, превышающем 1,0 с в зоне температур среды  $< 1000^\circ\text{C}$ . Степень связывания хлористого водорода при отборе газов с температурой  $570^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 1,28$ ) достигала 35%. Спнтн проводились при коэффициенте избытка воздуха 1,2.

Представляло интерес выявить зависимость концентрации хлористого водорода в газах от содержания хлора в угле. С этой целью использовалась присадка в угольную пыль хлористого аммония. Содержание хлора в угле с присадкой  $NH_4Cl$  контролировалось анализом по ГОСТ 9326-77 (после сжигания в калориметрической бомбе).

С ростом содержания хлора в угле увеличивалась степень его перехода в газовую фазу. Это могло происходить в случае, когда минеральная часть угля в процессе горения реагировала с вновь образующимся хлором, частично связывая его. Поскольку количество связывающих веществ по условиям эксперимента оставалось постоянным, "избыток" хлора транзитом переходил в газовую фазу, что подтверждает линейная зависимость концентрации  $HCl$  от содержания хлора в угле (рис. 2).

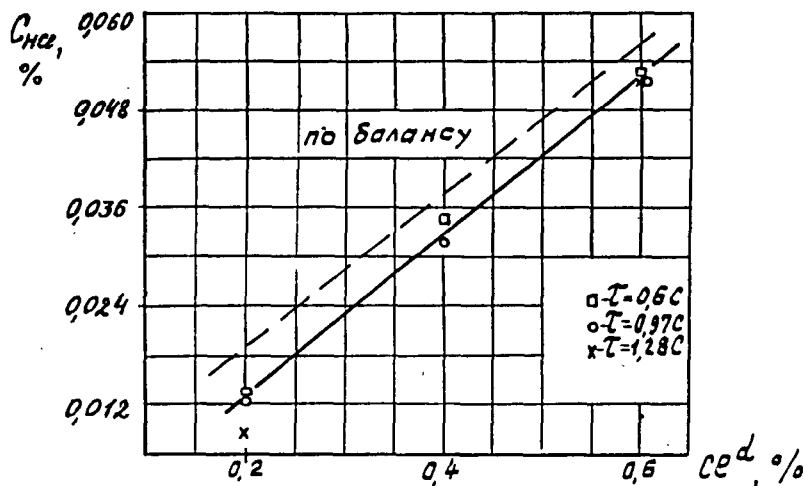


Рис. 2. Зависимость концентрации  $HCl$  в газах от содержания хлора в угле ( $T_{газ} = 1250^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 1,2$ )

Спыт по изучению влияния коэффициента избытка воздуха и концентрацию  $HCl$  в конечных сечениях факела проводились при максимальной температуре  $1250^{\circ}C$ . Каждая из кривых 1, 2 и 3 на рис. 3 построена при постоянном времени пребывания частиц в реакционной камере. В опытах с  $\alpha = 0,3-0,5$  в камере создавали восстановительная среда, содержание окиси углерода достигало 9,3%. Процесс образования  $HCl$  качественно не зависел от того в какой среде - восстановительной или окислительной - происходило горение пыли. В опытах с малыми значениями  $\alpha$  концентрация хлористого водорода возрастала из-за увеличения количества топлива, сожженного в единице объема окислителя.

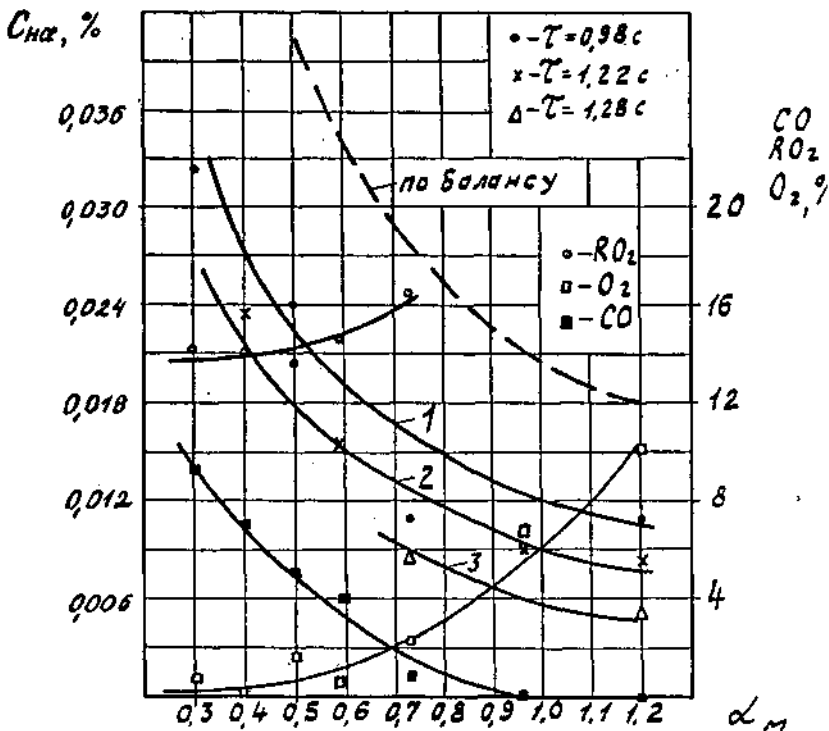


Рис. 3. Зависимость концентрации  $HCl$  в конечных сечениях факела от коэффициента избытка воздуха ( $T_{max} = 1250^{\circ}C$ ;  $Cl^{ad} = 0,2\%$ )

Увеличение температуры факель, содержания хлора в угле, а также уменьшение коэффициента избытка воздуха вызывало рост концентрации хлористого водорода в пылеугольном факеле. Вне зоны аксимальных температур концентрация  $HCl$  в газах зависела от содержания в золе оксида кальция.

В четвертой главе приводятся результаты исследований, выполненных при опытном сжигании партии приозерного угля (30 тыс. т) в котле БКЗ-500-140-1 Красноярской ТЭЦ-2.

Промышленные испытания подтвердили возможность эффективно сжигания "соленого" угля в котлах с тангенциальным низкотемпературным вихрем. Среднесуточная нагрузка за время испытаний составила 130 кг/с (94% ном.), при этом выявлено ограничение по шильной производительности мельниц-вентиляторов.

Измерение концентрации хлористого водорода по газовому тракту котла показало, что пик концентрации  $HCl$  - 0,025% приходится в зону выше третьего яруса горелок - зону максимального теплоотделения в топочной камере (рис. 4). В ней завершался процесс перехода хлора из угля в продукты его сгорания. Снижение концентрации хлористого водорода до 0,01% происходило на границе горения и охлаждения при уровне температуры газов 1000-1100°C. В районе конвективных поверхностей пароперегревателя ( $T_f = 600-800^\circ C$ ) концентрация  $HCl$  находилась в пределах 0,2-10<sup>-2</sup>%. Мелкого изменения концентрации  $HCl$  при  $T_f < 600^\circ C$  не происходило, уходящие из котла газы содержали хлористый водород в количестве ~0,1-10<sup>-2</sup>%.

В результате проведенных испытаний были получены зависимости глубины коррозии поверхностей нагрева от места их расположения, продолжительности работы и температуры металла труб. Изменения проводились при помощи врезанных в змеевики пароперегревателя вставок и воздухоохлаждаемых коррозионных зондов. Для обработки экспериментальных данных использовались следующие зависимости:

$$h^n = K_0 \cdot e^{-\frac{a}{RT}} \cdot \tau \quad (1)$$

$$\lg h = \frac{1}{n} \left( \lg K_0 - \frac{0,218Q}{T} + \lg \tau \right) \quad (2)$$

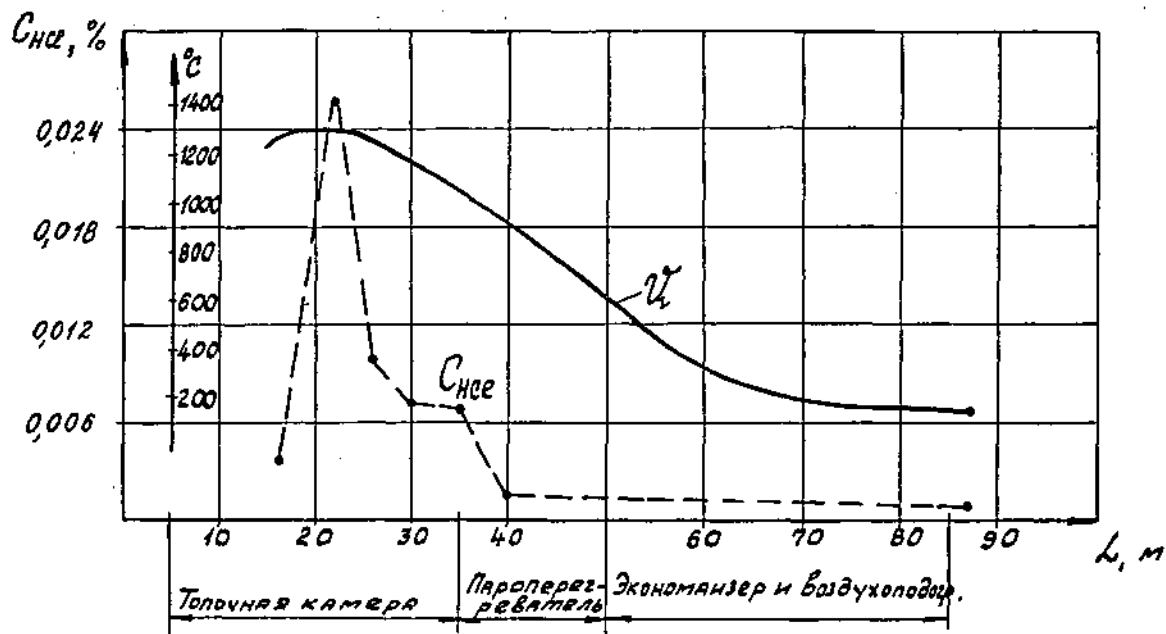


Рис. 4. Изменение концентрации хлористого водорода по газовому тракту котла БКЗ-500-140-1

где  $h$  - глубина коррозии, мм;  $n$  - показатель параболы;  
 $\gamma_0$  - константа;  $Q$  - условная энергия активации, калл/моль;  
 - абсолютная температура металла, К;  $R$  - газовая постоянная,  
 элл/моль.К;  $\tau$  - продолжительность испытания, ч.

Установлено, что глубина коррозии экранных труб (I2XIMФ)  
 при сжигании приозерного угля может быть определена по зависи-  
 мости (рис. 5):

$$\lg h = 1,77 - \frac{3444}{T} + 0,513 \lg \tau \quad (3)$$

Соответственно, для пароперегревательных поверхностей  
 (I2XIMФ):

$$\lg h = 2,9 - \frac{4445}{T} + 0,513 \lg \tau \quad (4)$$

С минимальной скоростью 0,04 мм/год ( $t_{мет} = 430^\circ\text{C}$ ) корроди-  
 зовала первая ступень пароперегревателя (последняя по ходу га-  
 зов). Для выходной ступени шармового пароперегревателя эта ве-  
 личина при  $t_{мет} = 470^\circ\text{C}$  была равна 0,08 мм/год. Трубы третьей  
 ступени корродировали со скоростью 0,13 и 0,17 мм/год в зависи-  
 мости от температуры металла -  $498^\circ\text{C}$  и  $513^\circ\text{C}$  (рис. 6).

Скорость коррозии труб из стали X18H12T (выходная ступень  
 /п) во время опытного сжигания не превысила 0,05 мм/год при  
 равных температурах металла  $540-580^\circ\text{C}$ .

Согласно нормативным документам трубы подлежат замене  
 если утонения ее стенки более, чем на 1 мм за 100 тыс. часов  
 работы. Таким образом, для обеспечения требуемого ресурса рабо-  
 ты поверхностей нагрева при сжигании приозерного угля необходи-  
 мо выдерживать температуру металла (I2XIMФ) на уровне, не пре-  
 вышающем  $540^\circ\text{C}$ . Выходные ступени пароперегревателя целесообраз-  
 но изготавливать из стали X18H12T.

Микрхимические исследования переходной зоны металл-шлако-  
 не отложения, выполненные методом электронно-зондового скани-  
 рования, показали, что соединения хлора в реакционной зоне  
 отсутствуют. Причина заключается в том, что хлориды железа  
 имеют низкую температуру плавления и сублимируют при температу-  
 ре выше  $400^\circ\text{C}$ . Сбрасываемые в результате этого процесса трещины

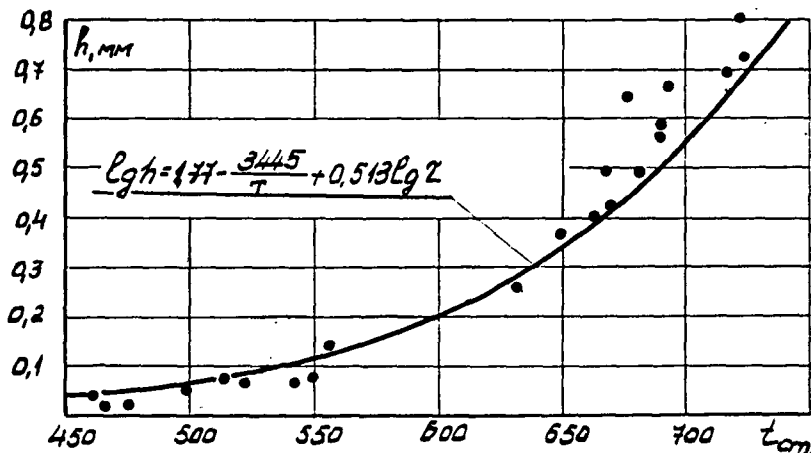


Рис. 5. Зависимость глубины коррозии стали I2XIMΦ от температуры стенки коррозионных образцов и вставок при опытно-сжатии (750 часов)

• - опытное сжатие на Красноярской ТЭЦ-2

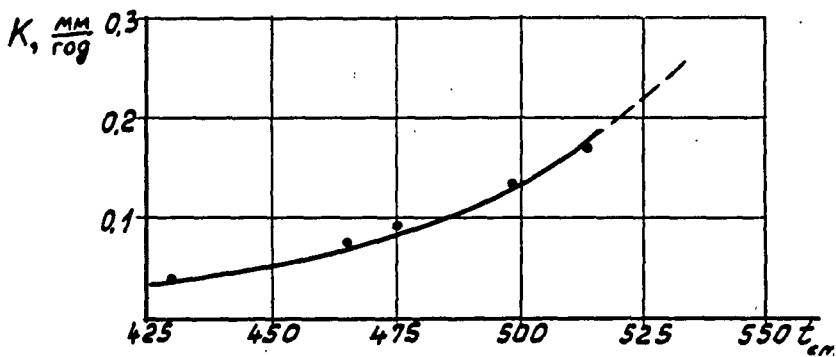


Рис. 6. Зависимость скорости коррозии труб пароперегревателя (I2XIMΦ) от температуры стенки



и поры заполняются продуктами коррозии и шлаковыми отложениями. То, что разрушение металла, произошедшее на границе с продуктами коррозии, есть следствие его взаимодействия с хлором, подтверждает массовое содержание  $Fe$  в месте разрушения удельной металлической структуры  $\sim 40\%$ . В молекулах  $FeCl_2$  и  $FeCl_3$  массовое содержание железа соответственно равно 34 и 44%. В последующих (в направлении продуктов коррозии) местах разрушения металла массовое содержание железа находится на уровне 50–70%. Такое содержание характерно для оксидов железа  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$  (77%, 70% и 72%) или их совместному присутствию с хлоридами железа. Более глубокое проникновение хлора в структуру металла указывает на иницирующую роль хлористого водорода в процессе коррозии. Окисление железа и его сульфатизация произошло впоследствии в местах образовавшихся разрушений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведены теоретические, экспериментальные и промышленные исследования процесса образования хлористого водорода в топочном факеле при сжигании "соленых" углей.

2. Разработана методика определения концентрации хлористого водорода в топочных газах.

3. Экспериментально исследована динамика образования хлористого водорода в пылеугольном факеле. Установлена зависимость концентрации хлористого водорода от температуры факела, коэффициента избытка воздуха, содержания хлора в угле, времени пребывания частиц и состава минеральной части угля.

4. Выполнены термодинамические расчеты равновесных состояний компонентов продуктов сгорания "соленых" углей. Расчеты подтвердили экспериментальные данные об эффективности связывания хлористого водорода оксидом кальция. Установлены оптимальные соотношения между содержанием  $CaO$  в золе углей и степенью связывания им хлористого водорода.

5. В ходе промышленных исследований работы котла БКЗ-500-140-1 на приозерном угле определена закономерность изменения концентрации хлористого водорода по газовому тракту котла.

6. Предложены расчетные формулы для определения глубины коррозии экранных и пароперегревательных поверхностей нагрева (ИХИМФ) в зависимости от температуры металла и продолжительности работы котла.

7. По результатам микрохимических исследований коррозионных образцов установлено, что при сжигании "соленых" углей играющая роль в коррозионных процессах принадлежит хлористому водороду.

8. На основании выполненных в диссертации теоретических, экспериментальных и промышленных исследований даны рекомендации по организации способа сжигания и конструктивным особенностям котла для сжигания "соленых" углей.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Процайло М.Я., Маршак Ю.Л., Пронин М.С., Васильев В.И. Мещеряков В.Г., Белов С.Ю., Лобов Г.В., Козлов С.Г., Верзиков В.Н., Ершов Ю.Б., Шлегель А.Э. Освоение и исследование опытно-промышленного котла БКЗ-500-140-1 с тангенциальной топкой для низкотемпературного сжигания канско-ачинских углей// Теплоэнергетика, 1988, № 1, с. 5-12.

2. Мещеряков В.Г., Енякин Ю.П., Ершов Ю.Б. Исследование коррозии поверхностей нагрева котлов при сжигании тургайского угля// Электрические станции, 1981, № 3, с. 33-41.

3. Ершов Ю.Б., Мещеряков В.Г. Сжигание приозерного угля в котле БКЗ-500-140-1 Красноярской ТЭЦ-2 и исследование коррозии поверхностей нагрева// Сб. "Проблемы использования канско-ачинских углей в энергетике". Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Красноярск, 1991, секция I, с. 34-35.

4. Ершов Ю.Б., Мещеряков В.Г., Енякин Ю.П. Образование хлористого водорода в пылеугольном факеле при сжигании угля высоким содержанием хлора// Теплоэнергетика, 1992, № 7, с. 61-