

На правах рукописи

ЗАГРУТДИНОВ Равиль Шайхутдинович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА
ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ЛУРГИ ПРИ ПАРОКИСЛОРОДНОЙ
ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул 2008

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом университете
имени И.И. Ползунова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сеначин Павел Кондратьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Жмудяк Леонид Моисеевич
доктор технических наук, доцент
Пузырев Евгений Михайлович

Ведущая организация: Уральский государственный
технический университет
(УГТУ-УПИ), г. Свердловск

Защита состоится « 04 » апреля 2008 г. в 10 часов на заседании
Диссертационного совета Д 212.004.03 при Алтайском государственном
техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу:
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, АлтГТУ.
E-mail: D21200403@mail.ru, тел/факс (3852)260516.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке АлтГТУ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью Вашего
учреждения, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секре-
таря диссертационного совета.

Автореферат разослан « 03 » марта 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

А.Е. Свистула

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время проблемы энергетики и энергосбережения приобретают все большее значение. Среди них важное значение имеет проблема энергетической безопасности производственных процессов, гражданских и других объектов. Актуальными остаются проблемы обеспечения энергией отдаленных районов, пунктов и хозяйственных объектов. Поэтому разработка комплексных энергетических установок (таких, например, как газогенератор, газовый двигатель или работающая на газе электрогенераторная станция с котлом-утилизатором) для автономного обеспечения тепловой, механической и электрической энергией является весьма актуальной проблемой. Исходным звеном такой установки может быть автономный газогенератор, работающий на угле.

Многие производственные и технологические процессы требуют для своего обеспечения большого количества тепловой энергии (пара или горячего газа), которую можно легко получить путем сжигания газа, полученного путем газификации угля.

Основной целью работы является развитие существующих представлений о процессах генерации горючих газов из каменных углей местных месторождений в плотном слое под давлением в газогенераторах, работающих по технологии Лурги на низкозольном шубаркольском угле. При этом главными направлениями исследования были следующие:

- определение диапазона надежной бесшлаковой работы газогенераторов Лурги при газификации шубаркольского угля, содержащего предельно низкое количество минеральной части (зольного остатка);
- достижение максимально возможного снижения величины показателей газификации (газификационного отношения пар/кислород) в дутьевой смеси.

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

- Рассмотрение и обзор существующих методов газификации углей и выбор наиболее рациональной технологии производства газа из низкозольного шубаркольского угля.
- Обобщение существующего опыта организации технологического процесса газификации углей в плотном слое под давлением при парокислородном дутье в газогенераторах Лурги.
- Проведение систематических экспериментальных исследований на промышленных газогенераторах Лурги, работающих на низкозольном шубаркольском угле при парокислородном дутье, с целью достижения оптимальных значений показателей газификации и выработки рекомендаций для проектирования второй очереди газогенераторной станции.

Научная новизна работы заключается:

В определении оптимальных значений показателей газификации газогенераторов Лурги, работающих на низкозольном шубаркольском угле при па-

роокислородном дутье под давлением, а также получение и обобщение обширного экспериментального материала, описывающего технологический процесс Лурги.

Практическая значимость. Отлажен технологический процесс газификации низкозольного шубаркольского угля при парокислородном дутье под давлением на промышленных газогенераторах Лурги и получены оптимальных значения показателей газификации. Результаты исследования внедрены на предприятии АО «Алюминий Казахстана» (г. Павлодар, Республика Казахстан). Издано учебное пособие по результатам исследования.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались на конференциях различного уровня: II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики. Энергоресурсосбережение» (Самара, 2004), конференции «Техпереворужение объектов энергетики на основе продуктов и услуг Уральского турбинного завода» (Екатеринбург, 2004), 3-й Международной научно-практической конференции «Энергоресурсосбережение, оптимизация энергопотребления и обеспечение экологической безопасности на предприятиях металлургической, горной и нефтехимической промышленности» (Санкт-Петербург, 2005), I Международной научно-технической конференции и Инвест-форуме Восточно-Казахстанской области «Энергетика, экология, энергосбережение» (Казахстан, Усть-Каменогорск, 2005), IV Международной научно-технической конференции «Достижения и перспективы развития энергетики Сибири» (Красноярск, 2005), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики - ЭЭТПЭ-2007» (Барнаул, 2007) и III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики» (Екатеринбург, 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 1 статья в журнале, рекомендованном ВАК России, 1 статья в региональном журнале, 6 докладов и 3 тезиса доклада на конференциях различного уровня и 1 учебное пособие.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Содержит 124 страниц, 29 рисунков, 12 таблиц и 49 цитированных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показаны ее научное и практическое значение, изложены основные положения, выносимые на защиту.

1 ПРОЦЕССЫ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ

Рассмотрены существующие технологии переработки углей: коксование, полукоксование, гидрогенезация и газификация. Показано, что газификация твердого топлива является важным направлением техники использова-

ния натуральных твердых топлив и, прежде всего, ископаемых бурых и каменных углей.

Скачок цен на углеводородное топливо в начале XXI-го века спровоцировал интерес к газификации и высокоинтенсивным технологическим процессам с использованием пылевидного угля. Это, прежде всего газификация в восходящем потоке фирмы Shell и GE, водоугольной суспензии – CopocoPhilips, в нисходящем потоке – Siemens. Первые два процесса получили признание в Китае, третий – в Северной Америке, четвертый – находится в развитии.

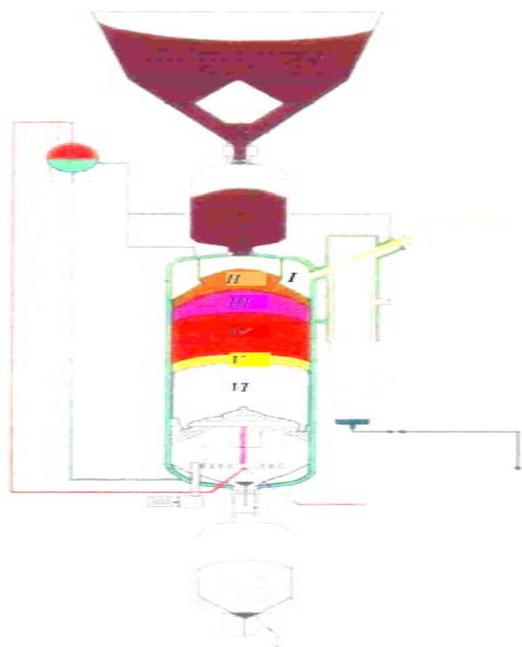


Рисунок 1 – Принципиальная схема газификатора Лурги и его реакционных зон:
 I – газовое пространство;
 II – зона выделения летучих;
 III – вторичная восстановительная зона;
 IV – первичная восстановительная зона;
 V – окислительная зона;
 VI – зольная подушка.

В 1930 г. Фирма Лурги (Lurgi) разработала метод газификации топлива кислородом и паром при повышенном давлении. Результаты лабораторных, полупромышленных, а позднее и производственных испытаний показали, что таким способом можно использовать малоценные топлива и получить из них богатые газы, соответствующие по своей теплоте сгорания бытовому газу. Кроме того, подбором давления и производственного режима можно вырабатывать газы разного состава, синтетический газ с требуемым соотношением между H_2 и CO (рис. 1).

В 1984 году в США был запущен завод «Великие равнины» (штат Дакота) для производства заменителя природного газа из угля с газификаторами IV-го поколения, на котором 14 газогенераторов с внешним диаметром 4,0 м вырабатывали газ, а также и широкий набор побочных продуктов (мазут, фе-

нолы, серу, сульфаты, аммиак и др.). Более 20 лет завод успешно работал на углях класса лигнит. Газогенераторы зарекомендовали себя как надежные и неприхотливые технологические агрегаты. Единичная мощность которых в полтора раза превысила проектную. Процесс Лурги был выбран из-за того, что на тот момент это была единственная отработанная технология, которую могли профинансировать инвесторы.

В середине 90-х годов прошлого столетия был запущен газовый завод в Китае с газогенераторами ZVU типа Лурги (Lurgi). Производительность газогенераторов с диаметром шахты 2,8 м на каменном угле достигала 18500 м³/ч, завод проработал 9 лет. В настоящее время в мире в эксплуатации находится более 130 газогенераторов типа Лурги. Более всего эти газогенераторы распространены в ЮАР и Чехии. В слоевых газогенераторах фирмы BGL процесс газификации угля осуществляется под давлением под давлением, как и в газификаторах Лурги, но с жидким шлакоудалением.

2 ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ В ПЛОТНОМ СЛОЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Среди всех известных технологий газификации углей наибольшее распространение получил процесс газификации угля в плотном слое под давлением. Процессы газификации углей были весьма распространены в XX веке. Многие отечественные (СССР и Россия) и зарубежные заводы работали по методу газификации в плотном слое. При этом с парокислородным дутьём под давлением работал, например, Щекинский газовый завод в Тульской области. Завод в Котла-Ярве в Эстонской ССР, завод в г. Сланцы в Ленинградской области и прочие работали с паровоздушным дутьём при атмосферном давлении. Они обеспечивали снабжение газом ряда городов, в том числе Москвы, Ленинграда, Таллина и других. В 1936 г. для снабжения г. Цитау (40 000 жителей, Германия) был построен газовый завод с двумя генераторами, диаметр шахты 1,2 м, генераторы работали под давлением 2,0 МПа и производили 3,5 млн. м³ бытового газа в год. В 1941 г. был пущен в эксплуатацию газовый завод в г. Бёлене (Германия), на котором установлено 10 генераторов. Компанией Mitsubishi Hi (Япония) разработана технология газификации углей в спутном потоке под давлением на воздушном дутье. В настоящее время в различных странах разрабатываются другие технологические процессы производства горючих газов, которые находятся в развитии. Интерес к процессам генерации газа из углей в мире постоянно растет.

Среди всех известных технологий газификации углей наибольшее распространение получил процесс газификации угля в плотном слое. Из процессов газификации в плотном слое наиболее отработанной и надежной в эксплуатации является схема газификации в плотном слое под давлением – процесс Лурги (Lurgi). В нашей работе именно этот процесс газификации углей является предметом исследования. Рассмотрим его подробнее.

На рис. 2 и 3 приведены фронтальный и боковой разрезы газогенераторного цеха АО «Алюминий Казахстана» для газификации Шубаркольский бу-

рый уголь фракции 5÷30 мм. Газогенераторы рассчитываются на давление до 1,4 МПа, а газификация угля может производиться под давлением 1,2-1,3 МПа. В качестве дутья используется парокислородная, паровоздушная или парокислородновоздушная смеси (табл. 1). Расчётная температура в реакционной зоне составляет около 1300-1400 К, а интенсивность процесса газификации порядка 2000 кг/м²*ч.

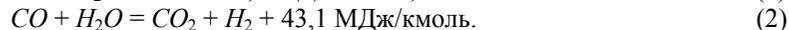
Процесс газификации в слоевых газогенераторах Лурги противоточный. Факторами, лимитирующими температуру процесса, являются плавкостные характеристики топлива. Для шубаркольского бурого угля лимитирующим является температурный интервал 1470-1680 К (от температуры начала деформации до температуры начала размягчения). Процесс газификации в газогенераторах Лурги организован таким образом, чтобы зола не размягчалась, не сплавлялась, а оставалась в твёрдом состоянии как в активной зоне, так и на колосниках решетки, создавая изолирующий слой.

В результате процесса газификации в предохладитель поступает сырой неочищенный газ, в котором, кроме *CO* и *H₂*, содержатся прочие компоненты, а именно: *CO₂*, *CH₄*, *C_nH_m*, *H₂S*, *N₂* и водяной пар с определенным содержанием масел, фенолов и газолена. Химические реакции, происходящие в газогенераторе под давлением, являются главным образом экзотермическими, а вырабатываемое тепло впоследствии утилизируется.

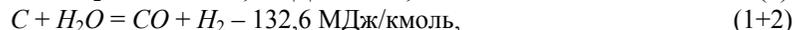
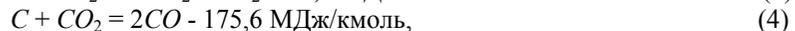
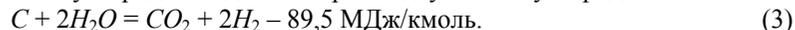
Рассмотрим физико-химические процессы, протекающие в газогенераторе с плотным слоем. На рис. 1 схематически показаны отдельные реакционные зоны и физико-химические процессы, происходящие внутри реактора газификатора.

В верхней части реактора находится газовое пространство **I** с газовыпускным отверстием. Ниже располагается зона выделения летучих (зона полукоксования) **II**.

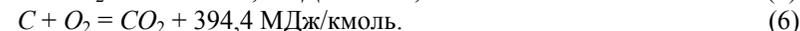
Далее показана вторичная восстановительная зона **III** (зона прогрева топлива), с преобладающими следующими основными реакциями:



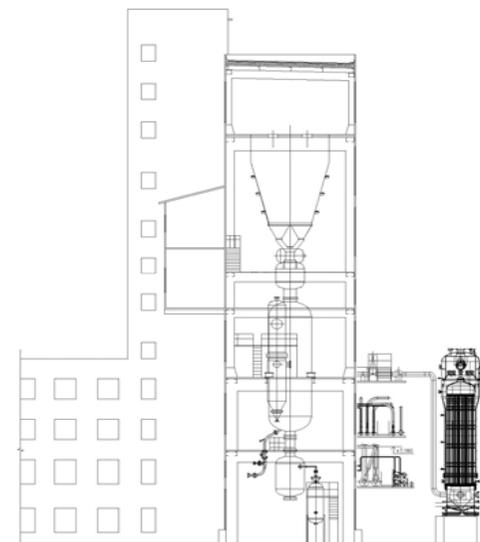
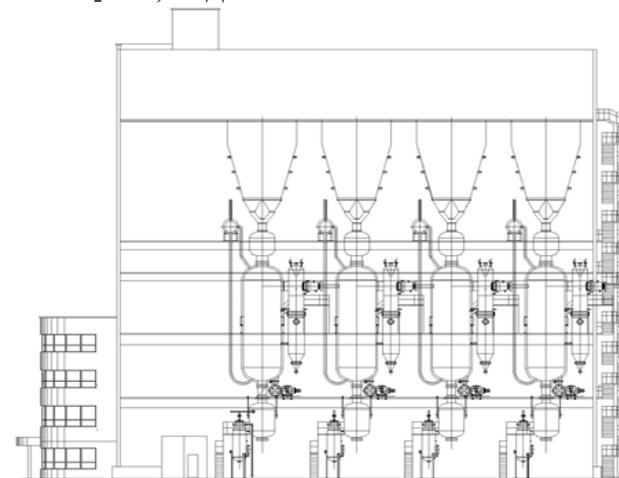
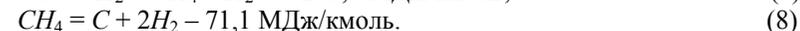
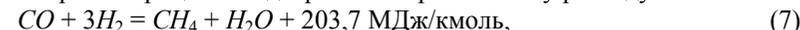
Под ней расположена первичная восстановительная зона **IV** (зона теплоглобления) с преобладающими следующими основными реакциями раскисления углерода с водяным паром и двуокисью углерода:



Заметим, что образующийся в восстановительных зонах **III** и **IV** газ содержит два горючих компонента – оксид углерода и водород. Как видно из приведенных уравнений, реакция (1) частично протекает и в восстановительной зоне **IV**. Еще ниже расположена активная зона горения **V** (окислительная зона), в которой происходит горение твёрдого топлива с образованием *CO* и *CO₂* по реакциям:



При взаимодействии *CO* и *H₂* в **III** и **IV** зонах может образовываться метан, который в процессе подвергается термическому распаду



Рисунки 2 и 3 – Компоновочная схема газогенераторного цеха

Участок между зоной активного горения и колосниковой решёткой VI представляет собой слой зольной подушки. Отметим важное технологическое условие газификации в плотном слое - в неподвижном слое допустимая температура лимитируется температурой плавления твердого топлива, существу, золы.

Таким образом, в нижней зоне V происходит окисление угля до CO_2 (окислительная зона), в средней зоне IV CO_2 восстанавливается до CO (восстановительная зона). Нижняя и средняя зоны вместе называются зоной газификации. Горячие газы этих зон с температурой порядка 1100-1200 К нагревают и подвергают пиролизу уголь в вышележащих зонах III и II. Эти две последние зоны вместе образуют зону подготовки топлива.

Таблица 1

Параметры парокислородной дутьевой смеси

1	Необходимое количество дутьевого пара на газификатор, т/ч	9,9
2	Количество кислорода в дутье одного газификатора, м ³ /ч	1443
3	Количество внешнего (чистого) пара в дутьевой смеси, т/ч	5,9-4,9
4	Давление дутьевой смеси, МПа	1,3
5	Температура внешнего пара в дутье, К	620
6	Давление внешнего пара в дутье (регулируемое), МПа	до 3,0
7	Температура смеси паров аммиачно-фенольной воды с парами масел подаваемых в дутьё, К	470-570
8	Количество смеси паров аммиачно-фенольной воды с парами масел подаваемых в дутье, т/ч	4,0-5,0

Сочетание всех приведенных выше основных реакций газификации (1)-(8) определяет состав образующегося газа, который изменяется по высоте газификатора. Таким образом, генераторный газ обычно получают продуванием смеси воздуха или кислорода с паром через слой угля, организуя неполное сгорание топлива.

Поскольку в газификаторе протекают как экзотермические, так и эндотермические реакции, то в соответствии с принципом Ле-Шателье равновесия экзотермических реакций при увеличении температуры в рассматриваемой зоне смещаются в сторону образования исходных веществ, а при уменьшении температуры – в сторону образования продуктов реакции. При этом отношение CO/CO_2 зависит от различных факторов: избытка воздуха, температуры процесса, способа контактирования части топлива с окислителем и других. Равновесие экзотермических реакций, а также реакции при уменьшении температуры процесса смещается в сторону образования CO и CO_2 . При этом пропорции получения CO/CO_2 зависят от различных факторов: избытка воздуха, температуры процесса и способа контактирования части топлива с окислителем. Меньшие объемные скорости окислителя способствуют образованию CO . Равновесие экзотермических реакций сдвинуто в сторону образования исходных продуктов при температурах выше 1300 К и не зависит от давления. Образование метана по реакции более вероятно при повышении давления газификации.

Многочисленные исследования макромеханизма реакций взаимодействия углерода в плотном слое с H_2O и CO_2 , протекающих в восстановительных зонах III и IV и определяющих состав получаемого газа, показали, что лимитирующими стадиями являются хемосорбция и образование промежуточных соединений, а также что в реагировании принимает участие менее 40 % поверхности углерода. Интенсифицировать процесс можно применением катализаторов, увеличивающих скорость реакций в 2-3 раза. Наиболее целесообразно в процессах газификации использовать катализаторы, ускоряющие реакции в окислительных и восстановительных зонах. Кроме того, в восстановительных зонах газогенератора химические реакции протекают в кинетической области, далеки от равновесия и не успевают завершиться. Поэтому длина реакционной зоны не укладывается по высоте слоя топлива и только при глубоком реагировании может быть ей равна.

Тепла, поступающего из окислительной зоны газогенератора и выделяющегося при протекании экзотермических реакций, недостаточно для обеспечения этих реакций и они полностью не успевают завершиться. Для интенсификации реакций углерода с CO_2 и H_2O и увеличении степени их превращения необходимо предусмотреть организацию дополнительного подвода тепла в восстановительные зоны газогенератора.

Термодинамические расчёты позволяют определить равновесные составы газов в зависимости от температуры и давления газификации. Однако использовать результаты этих расчётов для предсказания реального состава газов довольно сложно из-за значительных различий в скоростях реакций и влияния на процесс ряда технологических факторов.

В процессе слоевой газификации угля сочетаются термическая переработка топлива и собственно газификация полукокса или кокса, полученного в зоне подготовки топлива. Поэтому газ, выводимый из аппарата, содержит не только компоненты, образовавшиеся в процессе газификации, но и продукты пиролиза влажного твёрдого топлива, смолы в паровом состоянии, водяной пар, а также уносы (пылевидного топлива и золы). При охлаждении отводимого из газификатора газа происходит конденсация смол и воды, которые далее должны очищаться и подвергаться переработке. В этом процессе изменяется и состав твёрдой фазы. В зону газификации поступает уже не уголь, а кокс, а из окислительной зоны выводится раскалённый шлак.

Термическое разложение твердого топлива можно осуществлять в различном интервале температур. В интервале до 820 К протекает процесс полукоксования, при котором практически полностью выделяются смолистые вещества, и другие продукты, которые могут конденсироваться при охлаждении. В интервале 820-1070 К (среднетемпературное коксование) образуется незначительное количество смолистых веществ и выделяются углеводородные газы и водород. Повышение температуры до 1370 К (высокотемпературное коксование) приводит к образованию кокса и выделению горючих газов, состоящих в основном из метана и водорода. В условиях изменения темпера-

туры процесса газификации можно получать различные продукты термического распада топлива. Продукты могут быть отобраны из газификации после прохождения их через зоны постепенно снижающихся температур при протокоте топлива и газов (прямой процесс) или после пропуска их через зоны повышающихся температур при параллельном токе топлива и газов (обратный процесс).

Горючий газ может быть получен в газификаторе при высокой интенсивности выгорания углерода топлива при определенных условиях ведения процесса. При газификации топлива, основными объемными реакциями являются горение углерода и водорода, а также конверсия окиси углерода водяным паром. Протекание этих реакций в значительной мере зависит от взаимодействия дутья (воздуха или кислорода и водяного пара) с поверхностным углеродом.

Время пребывания газов в слое тоже оказывает влияние на протекание процесса. При прочих равных условиях термический распад горячей массы топлива практически не зависит от давления. Однако повышение давления существенно влияет на протекание вторичных реакций. В присутствии катализатора при пониженном давлении образуется большое количество углеводородов, но требуется большое количество катализаторов. При повышении давления и температурном уровне процесса ниже 970 К увеличивается выход метана, а при температуре более 970 К изменение давления существенного влияния на образование метана не оказывает. В целом в присутствии катализатора, скорость реакции возрастает с ростом давления. Интенсивность процесса пропорциональна корню квадратному из роста давления, а сжигание уноса (мелких частиц) пропорционально корню четвертой степени из роста давления при проведении газификации мелкозернистого топлива в кипящем слое под давлением.

При увеличении времени пребывания увеличивается выход газа и снижается выход смолы и пирогенетической влаги. В газе повышается содержание CH_4 и снижается содержание непредельных соединений углеводородов и водорода. Увеличение температуры при неизменном времени пребывания приводит к увеличению C_nH_m и водорода, в смоле снижается количество фенолов и асфальтенов. При поддержании в зоне термического разложения высокого давления и температуры свыше 1070 К (при наличии активной среды - водорода) можно получить газы с высокой низшей теплотой сгорания.

В результате проведенного анализа процессов газификации угля в плотном слое и на основе данных, приведенных в отчете Института исследования топлив «UVP» в Биховице (г. Прага, Чехия), можно сделать следующие выводы. С учетом всех обстоятельств, рациональной следует признать схему схему газификатора Лурги с колосниковой решеткой, с верхней загрузкой топлива и боковым выводом тепла, с охлаждаемой водяной “рубашкой”, периодичной бункерной засыпкой угля и непрерывным золоудалением. Представляется рациональным и предлагается осуществлять газификацию в аппарате с

сухим шлакоудалением, поскольку зольность топлива не превышает 3-5 % на рабочую массу.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ЛУРГИ НА ШУБАРКОЛЬСКОМ УГЛЕ ПРИ ПАРОКИСЛОРОДНОМ ДУТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Основной целью комплекса исследований на предприятии АО «Алюминий Казахстана», выполненных в пуско-наладочный период на газогенераторах Лурги под давлением с парокислородным дутьем, работающих на шубаркольского угля, являлось достижение максимально возможного снижения величины показателей газификации (газификационного отношения пар/кислород) в дутьевой смеси.

В газогенераторах Лурги под давлением на газогенераторной станции АО «Алюминий Казахстана» газифицируется длиннопламенный каменный уголь марки Д. При этом расчётный расход угля на одном газогенераторе составляет 6,25 т/час. Особенностью выбора топлива для газификации являлось то обстоятельство, что Заказчиком было предложено применить низкозольный уголь, используемый в технологии завода при обжиге гидроксида алюминия.

В мировой практике эксплуатации газогенераторов Лурги газификация угля с зольностью не превышающей $A^d=3,5-3,7\%$ не имела места. Как правило, газифицировались каменные и бурые угли с зольностью на сухую массу не менее $A^d=10-12\%$. Связано это с тем, что низкая зольность исследуемого топлива является фактором, ограничивающим его применение при газификации в плотном слое. Малая зольность является причиной низкой скорости образования зольной подушки (зона VI). В целях поддержания высоты зольной подушки, исключающей пережог элементов колосниковой решетки, последняя должна иметь либо очень низкую скорость вращения, либо включаться кратковременно. Однако низкая скорость вращения и, соответственно, минимальное количество удаляемой золы затрудняет равномерную раздачу дутьевой смеси по сечению реактора, что в свою очередь может привести к температурным перекосам и зашлаковке отдельных участков активной зоны газогенератора. При наблюдаемых перекосах температур, появлении «прогаров» основным инструментом ликвидации этих нарушений процесса газификации является интенсивная прокрутка колосниковой решетки, что, в свою очередь, ведёт к быстрому уменьшению высоты зольной подушки, критерием которой является резкий рост температуры падающей золы.

При проектировании газогенераторной станции АО «Алюминий Казахстана» и для выбора необходимого оборудования низкозольный шубаркольский уголь был подвергнут специальному анализу в Институте исследования топлив «UVP» в Биховице (г. Прага, Чехия). В результате исследований были выданы следующие рекомендации: 1) значения показателей газификации (по внешнему дутьевому пару $K_1=6,6-7,1$; по суммарному, внешнему и внутреннему, дутьевому пару $K_2=8,2-8,8$); 2) спекаемость угля (показатель свободного набухания FSI) очень мала – почти нулевая (поэтому для обеспечения нормального технологического процесса в газогенераторах не требуется устройство и монтаж спе-

циальных устройств, разрушающих спекание угольной массы в верхней части реактора).

По данным лабораторных анализов температура спекания $t_s=1095-1100$ К. Низкая спекаемость угля по результатам исследований обеспечивается только для температур в верхней части реактора (на выходе из зоны сушки топлива) не превышающих 620 К. Однако, в отдельных случаях при исследовании и поиске оптимальных режимов, температуры в этой зоне доводились до температур 670 К. При этом температуры в зоне температур низкотемпературной карбонизации достигали иногда температур спекания $T_s=1100$ К.

Для оценки шлаковочных свойств минеральной части газифицируемого угля и для предварительного прогноза и планирования исследований по определению оптимальных режимов работы газогенератора, кроме информации по плавкостным характеристикам его минеральной части, крайне необходимо представление по его химическому составу (табл. 2).

Таблица 2
Химический состав минеральной части газифицируемого шубаркольского угля

Химический состав золы	Содержание в % от всей массы
Двуокись кремния, SO_2	47-48
Триоксид алюминия, Al_2O_3	19,8-23,6
Триоксид железа, Fe_2O_3	4,5-5,8
Окись кальция, CaO	6,0-9,0
Окись магния, MgO	2,0-3,3
Диоксид титана, TiO_2	0,88-0,99
Пятиокись фосфора, P_2O_5	0,2-1,0
Триоксид серы, SO_3	4,0-7,3
Окись калия, K_2O	1,2-3,0
Окись натрия, Na_2O	1,7-3,4
Четырёхокись марганца, Mn_3O_4	0,05-0,15

Из литературных источников известно, что в газогенераторах Лурги между входными и выходными параметрами имеется максимум 105 взаимных зависимостей. При этом не учитываются зависимости чисто производственного значения, а также те зависимости, которые могут быть обусловлены типом и размерами производственного оборудования. Имеется в виду влияние на процесс газификации следующих факторов – временного ритма загрузки топлива, циклов удаления золы, скорости вращения колосниковой решетки и т.п., которые кроме загрузки генераторной установки и качества газифицируемого топлива, зависят от размеров устройств впуска угля, устройств выпуска золы, отвального устройства колосниковой решетки данного типа и т.д. Знание этих соотношений имеет значение в первую очередь при конструктивном решении технологического оборудования. Не нуждается в рассмотрении и способ подачи угля и удаления золы, если он сам по себе не противоречит требованиям собственно технологии производства газа под давлением.

В соответствии с задачами исследований из всех взаимных зависимостей экспериментальной проверке нами в основном подвергались:

- соотношения входных параметров (состав и концентрация газифицирующей смеси – показатели газификации) и выходных (содержания отдельных компонентов неочищенного газа, теплотворной способности, удельной теплоты сгорания);
- зависимости температур слоёв угля в зонах сушки топлива T_1 (температур слоя угля под ретортой) и в зоне низкотемпературной карбонизации T_2 от коэффициентов газификации;
- зависимости выходных параметров генераторного газа (содержания отдельных компонентов неочищенного газа, теплотворной способности, удельной теплоты сгорания) от температур слоёв угля в зонах сушки топлива T_1 (температур слоя угля под ретортой) и в зоне низкотемпературного полукочкования T_2 .

Наиболее определяющими и оказывающими максимальное влияние на режим работы газогенераторов факторами является газификационное соотношение дутья, характеризующееся двумя коэффициентами K_1 и K_2 (показателями газификации):

- K_1 – отношение количества внешнего перегретого дутьевого пара (т/час) к количеству технического (95 %-го) кислорода в дутье при нормальных условиях ($nm^3/час$) $K_1 = Q_1 / F_{O_2}$;

- K_2 – отношение суммарного количества (внешнего перегретого и внутреннего насыщенного) дутьевого пара (т/час) к количеству 95 %-го (технического) кислорода в дутье при нормальных условиях ($nm^3/час$)

$$K_2 = Q_2 / F_{O_2} .$$

Коэффициенты газификации K_1 и K_2 являются интегральными характеристиками газификатора Лурги, позволяющими рассматривать работу и оптимизировать технологический процесс агрегата в обобщенном виде.

В процессе анализа результатов экспериментов не учитывалось, что изменение удельного потребления кислорода автоматически вызывает изменение удельного потребления пара, если природа газифицируемого угля и золы требует сохранения постоянных величин показателей газификации (газификационного отношения). В анализе не рассматривались удельные расходы, поскольку речь идет о производных параметрах от производительности газогенераторной установки, то есть из выработки неочищенного газа.

Газифицируемый шубаркольский уголь отличается исключительно низкой зольностью ($A^d = 1,5-3,5$ %). В данном случае низкая зольность исследуемого топлива является фактором, ограничивающим его применение при газификации в плотном слое. Это связано с низкой скоростью образования зольной подушки (зона VI). В целях поддержания высоты зольной подушки, исключаяющей пережог элементов колосниковой решетки, последняя должна иметь очень низкую скорость вращения. Однако низкая скорость вращения и, соответственно минимальное коли-

чество удаляемой золы затрудняет равномерную раздачу дутьевой смеси по сечению реактора, что в свою очередь может привести к температурным перекосам и зашлаковке отдельных участков активной зоны газогенератора.

Большинство действующих газовых заводов, газифицирующих каменный уголь, работают с показателями газификации $K_1=6,9-7,9$. Предварительный технико-экономический анализ данной проблемы показал, что только за счет оптимизации газификационного отношения на 4-х газогенераторах можно было бы получить экономию приблизительно до 90000 т пара в год.

Таким образом, главной целью экспериментальных и опытных работ, которые проводились в этом направлении, было повышение эффективности газификации под давлением путем экспериментальной проверки наиболее подходящих газификационных отношений при относительно низких (до 620-640 К) температурах газификационного пара.

В табл. 3 приведены средние объемные концентрации составляющих генерируемого газа и основные технико-экономические и энергетические показатели газогенераторов Лурги, достигнутые ходе наладочных и исследовательских работ на газогенераторной станции АО «Алюминий Казахстана».

Таблица 3

Технико-экономические показатели газогенератора Лурги

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Формула	Значение
Состав газа:				
H ₂	-	%		41,1
CO	-	%		23
CO ₂	-	%		28,3
CH ₄	-	%		7,5
O ₂	-	%		0,1
Давление пара	p	МПа		1,5
Температура пара	T	К		603
Средняя теплоемкость пара	C	кДж/(кг*К)		1,52
Теплосодержание (энтальпия) пара	I	МДж/кг		3,10
Расход пара	D	кг/ч		4900
Теплотворная способность газа	Q^g	МДж/нм ³		10,05
Расход газа	V^g	нм ³ /ч		9250
Теплотворная способность угля	Q^m	МДж/кг		26,8
Расход угля	R	кг/ч		6000
КПД:				
Газификации газогенератора (низший)	$\eta_{газиф}$	%	$\frac{Q^g \cdot V^g}{(Q^m \cdot R)}$	57,8
	$\eta_{г-ра}$	%	$\frac{Q^g \cdot V^g}{(Q^m \cdot R + D \cdot C \cdot t)}$	56,9

Наиболее существенное влияние на процесс газификации угля под давлением оказывают состав (соотношение между объемными долями компонентов) и температура газифицируемой дутьевой смеси. В производственной практике состав газифицируемого материала, как правило, характеризуется соотношением между подводимым паром и кислородом (показатель газификации), кроме этого дополнительно вводится только температура газифицирующего пара. Для технической практики такого представления достаточно, с теоретической же точки зрения оно неудовлетворительно. Сам по себе показатель газификации (газификационное отношение) не учитывает изменений концентрации кислорода и, стало быть, взаимного соотношения между H₂O (газообразная), O₂ и H₂. Аналогичным образом температура стороннего пара сама по себе не может в достаточной мере характеризовать газифицирующую смесь с точки зрения теплового баланса процесса.

При прохождении топлива через отдельные зоны генератора кроме его просушивания, карбонизации и газификации происходят также изменения неорганических веществ, которые содержатся в топливе. В процессе газификации минеральная часть угля подвергается целому ряду изменений и химических реакций – экзотермических и эндотермических. Кроме эндотермического разложения глинистых материалов, при котором выделяется содержащаяся в них вода, происходит преимущественно разложение карбонатов (CaCO₃, FeCO₃), окисление пирита и окислов железа, обезвоживание (дегидратация) гипса, разложение сульфата железа и т.п. С учетом того, что в генераторе происходит изменение условий (окислительная и восстановительная атмосфера), это изменение влияет также на характер реакций в отдельных реакционных поясах (зонах). Вполне обосновано можно предполагать, что, например, сначала трехвалентное железо в восстановительной зоне (поясе) генератора в атмосфере с высоким парциальным давлением водорода восстанавливается до Fe⁺², а в следующей окислительной зоне (поясе) снова происходит окисление до Fe⁺³.

Подобным образом высокое парциальное давление CO₂ при газификации угля под давлением играет существенное значение и может быть первичной причиной производственных осложнений.

Абсолютное содержание зольных остатков, которые практически полностью выражаются содержанием золы, и их состав имеют принципиальный смысл для собственной эксплуатации генератора, работающего под давлением, так как, по сути, заранее определяет или ограничивает технологические условия эксплуатации, а следовательно и его экономическую эффективность.

Чем выше точка размягчения или плавления золы, тем более высокую температуру можно использовать в окислительной зоне генератора и тем более полно осуществляются реакции газификации в пользу калорических

соединений газа при не очень высоких показателях газификации. То, каким образом будет вести себя смесь неорганических веществ в самой горячей зоне генератора, определяется не только ее химическим составом, но также и взаимным соотношением некоторых компонентов и типом среды. По аналогии с определением шлакующих свойств минеральной части углей в котельной энергетике, в газогенераторной технике неким правилом, на основании которого можно заранее судить о качестве золы и его поведении в реакторе, может служить соотношение между содержанием окислов Si , Al , Fe , Ca и Mg , определяемое формулой

$$B = \frac{[SiO_2] + [Al_2O_3]}{[Fe_2O_3] + [CaO] + [MgO]}.$$

Чем больше указанное отношение, тем меньше зола склонна к образованию топливных шлаков или эвтектик с низкими температурами плавления. Практический опыт показывает, что это правило не должно быть всеобщим, так как все зависит и от содержания других соединений, в первую очередь щелочей, которые существенно влияют на физические свойства золы.

Другими параметрами, по которым судят о поведении золы при газификации или сжигании, являются температура размягчения (t_A), плавления (t_B) и начала жидкого состояния (t_C) золы. Но и эти параметры будут надежными не во всех случаях, и по следующим причинам: 1) лабораторное определение температур t_A , t_B , t_C происходит при других условиях, чем аналогичный процесс нагрева в газогенераторе под давлением; 2) зола, которая используется для лабораторного определения, получается при сжигании (окислении) пробного угля и при этом имеет другой состав, чем смесь неорганических веществ, поступающая из восстановительной в окислительную зону генератора.

Ненадежность или невоспроизводимость одновременно применяемых методов для точного определения свойств и природы золы с учетом процесса газификации приводит к тому, что и в настоящее время мы все еще вынуждены проводить процесс газификации более или менее «наощупь» и с опозданием. Только по характеру золы, выносимой из генератора, делается вывод о ходе газификации и осуществляются технологические вмешательства (изменение газификационного отношения, изменение скорости удаления золы, загрузка генератора и т.п.).

Причиной образования спеченного топливного шлака является не только высокая температура в окислительной зоне. Кроме мягких и твердых (спеченных частично или полностью) кусков шлаков или даже обычно неустраняемых налипаней различного типа непосредственно в реакторе газогенератора, может происходить также возникновение "гидравлических" шлаков, особенно в тех случаях, когда зола содержит большую долю свободной окиси кальция. Мера способности приобретает гидравлические,

цементационные свойства выражается так называемым гидравлическим модулем A , который определяется формулой

$$A = \frac{[CaO]}{[SiO_2] + [Al_2O_3] + [Fe_2O_3]}.$$

Опасность образования "гидравлических" шлаков тем больше, чем больших величин достигает указанный модуль.

В себестоимость производства генераторного газа немаловажный вклад вносит стоимость кислорода, расходуемого на парокислородное дутье. При этом общеизвестно, что с повышением зольности угля под воздействием комплекса факторов увеличивается и удельный расход кислорода в дутьевой смеси, величина которого по многочисленным экспериментальным данным возрастает и составляет примерно 1% при увеличении зольности топлива A^d на 1% на сухую массу.

Расчётный удельный расход кислорода для газификации малозольного шубаркольского угля (по данным UVP) составляет 87-88 $nm^3/1000 nm^3$ генераторного газа. Однако в процессе всех пуско-наладочных и исследовательских работ к этим значениям удельных расходов кислорода не удалось даже приблизиться.

На рис. 4 представлена зависимость расхода кислорода от расхода генераторного газа. При анализе этой зависимости необходимо учитывать тот факт, что она получена при работе газогенераторов при различных показателях (коэффициентах) газификации. Видно, что указанная зависимость близка к линейной во всем диапазоне изменения расходов кислорода и генераторного газа. Если эти результаты представить в виде формулы, то получим (на единицу объемного расхода генераторного газа)

$$F_{O_2} = -70,0 + 0,167F_{gas}.$$

Здесь F_{O_2} - объемный расход кислорода на газификацию ($nm^3/час$); F_{gas} - объемный расход генерируемого в аппарате газа ($nm^3/час$). На рис. 5 показана зависимость удельного расхода кислорода от коэффициента газификации K_1 . Эта зависимость представляющую полиномиальную линию второй степени (параболу). Для шубаркольского угля эта зависимость может быть представлена формулой

$$F_{O_2} = 170 - 90,0K_1 + 10,0K_1^2.$$

Как можно видеть из рисунка, минимальное значение удельного расхода кислорода составляет в отдельных режимах работы 148-150 $nm^3/1000 nm^3$ газа. При этом минимум удельного расхода кислорода приходится на режимы работы газогенераторов с показателями газификации $K_1=4,5-5,3$.

Известно, что реакционная способность угля определяется его способностью взаимодействовать с кислородом, и соединяться с ним в виде окиси углерода (в присутствии водяного пара) или с кислородом как таковым.

Геологически молодой уголь и, в первую очередь, уголь с высоким содержанием летучих горючих веществ обладает большей реакционной способностью, чем более старые угли.

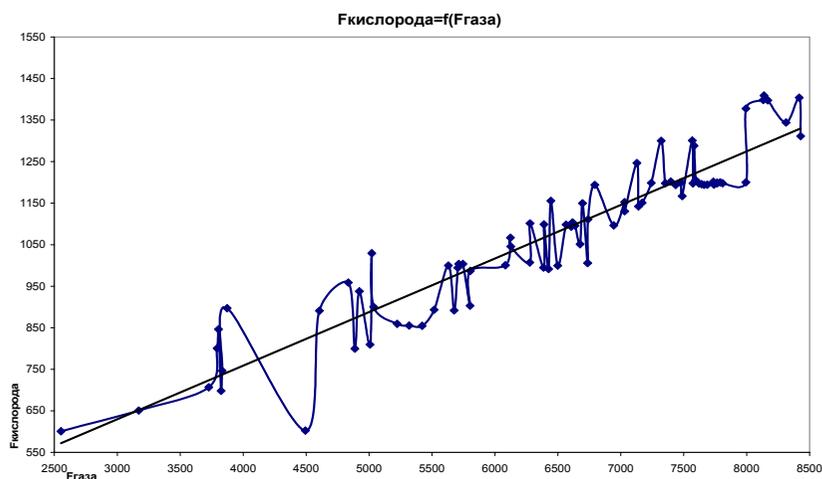


Рисунок 4 - Зависимость расхода кислорода от расхода генераторного газа (при различных коэффициентах газификации)

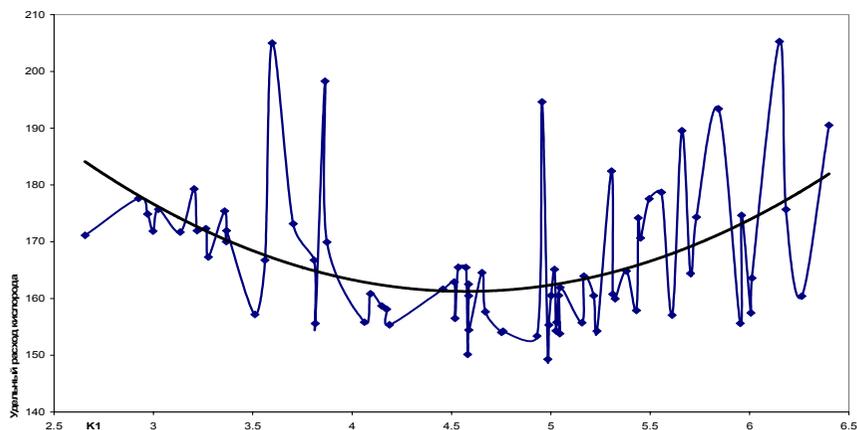


Рисунок 5 - Зависимость удельного расхода кислорода от коэффициента газификации K_1

Для процессов газификации высокая реакционная способность выгодна, напротив, например, для технологических процессов в металлургии или в литейном деле желательнее, чтобы используемый кокс имел как можно меньшую реакционную способность. Реакционная способность угля или температура реакционности, следовательно, могла бы стать одним из показателей, который был бы полезен для оценки угля и для его выбора в качестве сырья для технологических процессов газификации угля кислородом и водяным паром под давлением.

Шубаркольский уголь с этой точки зрения является высокорекционным и имеет содержание летучих около 47 %. При этом температура реакционности для него составляет $T_R=1240$ К, а удельный расход кислорода на 1 тонну горючих веществ — $300-310$ нм^3 . С учётом наличия содержания кислорода в угле (до 15 %) и частичной конверсии водяного пара на раскалённом угле в активной зоне расчётный удельный расход кислорода не должен превышать 90 $\text{нм}^3/1000$ нм^3 газа. Однако, эта величина на практике не было достигнуто ни в одном режиме работы ни одним из четырёх газогенераторов Лурги.

И напротив, если не учитывать содержание кислорода в угле и частичной конверсии водяного пара на раскалённом угле в активной зоне, то удельный расход кислорода составит $145-150$ $\text{нм}^3/1000$ нм^3 газа, что соответствует фактически замеренным величинам.

Исследование работы газогенератора в сторону уменьшения коэффициента газификации K_1 в процессе испытаний производилось крайне осторожно из-за возможности образования шлаков. Как уже отмечалось выше, для исключения спекания угля необходимо иметь температуру слоя в верхней части газогенератора, не превышающую 620 °С.

В производственных условиях при газификации угля с пониженным содержанием золы существует большая опасность образования как гидравлических, так и твердых (спеченных) шлаков. То есть, несмотря на другие благоприятные последствия, с точки зрения экономии энергии (кислорода), существуют другие условия для образования шлака, в первую очередь вследствие повышенного содержания в золе шубаркольского угля Fe_2O_3 (до 12-13 %). Поэтому, уменьшение газификационного отношения производилось крайне осторожно, ступенчато, с освоением каждой ступени и контролем зольных остатков. При этом повышенное внимание уделялось режимам работы газогенераторов с целью предотвращения самопроизвольного понижения расходов кислорода и внешнего дутьевого пара, а значит и газификационного отношения, которое может в некоторые моменты времени достигать предельно низких значений.

В процессе проведения пуско-наладочных и исследовательских работ, продолжавшихся более трёх месяцев, было достигнуто снижение газификационного отношения с расчётных величин по внешнему дутьевому пару с $K_1=6,31$ до величины равной $2,66$. Получены зависимости выходных парамет-

ров (состав газа и его теплотворная способность) от величины газификационного отношения (коэффициентов K_1 и K_2). Режимы работы газогенераторов Лурги в области минимальных значений коэффициентов газификации $K_1=2,66-4,0$ являются опасными с точки зрения зашлаковки. Поэтому исходя из результатов испытаний рекомендован технологический режим работы газогенераторов с коэффициентом газификации $K_1=4,0-4,2$.

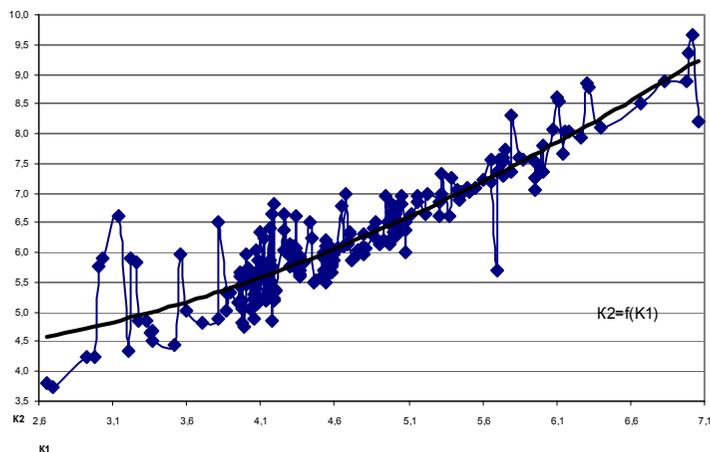


Рисунок 6 - Зависимость коэффициента газификации K_2 от коэффициента K_1

На рисунке 6 представлена экспериментальная зависимость коэффициента K_2 от коэффициента K_1 , полученная на газогенераторах Лурги на парокислородном дутье под давлением, работающих на шубаркольском угле, которая может быть обобщена регрессионным полиномом третьей степени

$$K_2 = 4,4845 - 0,4371K_1 + 0,1929K_1^2 - 0,0051K_1^3.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Произведен анализ существующих методов газификации углей и выбор наиболее рациональной технологии производства газа из низкосольного шубаркольского угля, а именно, на газогенераторах Лурги под давлением с использованием парокислородного дутья и разработаны рекомендации по созданию газогенераторной станции на АО «Алюминий Казахстана».

2. Проведены систематических наладочные и экспериментальные исследования на промышленных газогенераторах Лурги. Доказана принципиальная возможность газифицирования низкосольного ($A^d = 1,5-3,5\%$) шубаркольского длиннопламенного каменного угля марки Д в плотном слое под давлением с использованием парокислородного дутья. В экспериментах достигнуты ре-

жимы работы газогенераторов с минимальными значениями коэффициента газификации $K_1 = 2,66$.

3. С целью определения диапазона надежной и безшлаковочной работы газогенераторов Лурги в результате наладочных и исследовательских работ получен и обработан большой массив экспериментальных данных. В результате анализа установлены различные эмпирические зависимости, а также регрессионные формулы, описывающие технологический процесс Лурги, в том числе:

- значения удельного расхода кислорода (при вариации значений коэффициента газификации K_1 в диапазоне 2,5-6,5);
- обобщенные экспериментальные зависимости объемной концентрации составляющих генераторного газа от коэффициента газификации K_1 (в указанном диапазоне) и от коэффициента газификации K_2 (варьируемого в диапазоне 3,7-8,8);
- обобщенные экспериментальные зависимости между коэффициентами газификации K_1 и K_2 .

4. Экспериментально установлен оптимальный диапазон проведения технологического режима процесса газификации с $K_1 = 4,0-4,2$, который исключает возможность зашлаковки и образование спеченных конгломератов в реакторе газогенератора.

5. Анализ движения материальных потоков (энергетического баланса) газогенераторов Лурги показывает, что достигнуты удовлетворительные результаты по коэффициенту полезного действия энергоагрегата – 56,9% и энергетическому коэффициенту газификации 57,8% при производстве генераторного газа теплотворной способности не менее 10 МДж/нм³ и производительности не менее 220000 нм³ газа в сутки.

Результаты исследования были использованы на предприятии АО «Алюминий Казахстана» и при разработке рекомендаций при проектировании второй очереди газогенераторной станции (г. Павлодар, Республика Казахстан). По результатам исследования издано учебное пособие.

Основные результаты опубликованы в работах: статьи в изданиях, рекомендованных ВАК -

1. Загруднинов Р.Ш. Наладочные испытания газогенераторов Лурги и перспективы газогенераторных технологий / Р.Ш. Загруднинов, А.Н. Нагорнов, П.К. Сеначин // Ж. Ползуновский вестник, 2007.- №3. – С. 40-47.

статьи, отражающие основное содержание работы -

2. Загруднинов Р.Ш. Результаты промышленных испытаний по газификации длиннопламенного каменного угля в слоевом газификаторе / Р.Ш. Загруднинов, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов, И.С. Белоусов, А.Т. Ибрагимов, Н.П. Деревянкин // Актуальные проблемы энергетики. Энергосбережение: Труды II Всероссийской научно-практической конференции / Самара, 18-20

мая 2004 г. – Самара: Самарский областной Дом науки и техники, 2004. – С. 35-39.

3. **Загруддинов Р.Ш.** Создание компактных небольших энергетических предприятий по выработке тепла и электроэнергии на базе местных месторождений торфа, горючих сланцев, бурого и каменного угля / Р.Ш. Загруддинов, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов, Д.Г. Малыхин // Сборник докладов конференции «Техпереворужение объектов энергетики на основе продуктов и услуг Уральского турбинного завода» / Екатеринбург, 17 ноября 2004. – Екатеринбург: ЗАО «Уральский турбинный завод», 2004. – С. 88-92.

4. **Загруддинов Р.Ш.** Применение технологии газификации твердых топлив в различных отраслях промышленности Республики Казахстан / Р.Ш. Загруддинов, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов, Д.Г. Малыхин, А.Т. Ибрагимов, Н.П. Деревянкин // Энергетика, экология, энергосбережение: Материалы I Международной научно-технической конференции / Усть-Каменогорск, 2-4 июня 2005 г. – Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2005. – С. 144-146.

5. Ибрагимов А.Т. Перспективы газогенераторных технологий и их внедрение в промышленной энергетике / А.Т. Ибрагимов, Н.П. Деревянкин, **Р.Ш. Загруддинов**, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов // Достижения и перспективы развития энергетики Сибири: Материалы IV Международной научно-технической конференции / Красноярск, 20-21 октября 2005 г. – Красноярск: Изд-во Краснояр. филиала ОАО «Сибирский ЭНТЦ», 2005. – С. 455-463.

6. Силин В.Е. Перспективы использования биомассы в энергетических циклах с газификацией / В.Е. Силин, А.А. Кузнецов, С.М. Надир, В.В. Костюнин, А.Ф. Рыжков, **Р.Ш. Загруддинов** // *Ж. Энергетика региона*, 2005.- № 1-2 (78-79) январь-февраль. – С. 43-46.

7. **Загруддинов Р.Ш.** Наладка и опытная эксплуатация газогенераторов Лурги на парокислородном дутье и перспективы газогенераторных технологий / Р.Ш. Загруддинов, А.Н. Нагорнов, П.К. Сеначин // Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики» (ЭЭТПЭ-2007): Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Барнаул, 17-20 октября 2007. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2007. – С. 124-128.

8. **Загруддинов Р.Ш.** Перспективы газогенераторных технологий и их внедрение в промышленной энергетике / Р.Ш. Загруддинов, А.Н. Нагорнов, Д.Г. Малыхин, П.Э. Капуста // Матер. III Междунар. научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики» / Екатеринбург, 21-23 ноября 2007. – Екатеринбург: Изд-во: «ИРА УТК», 2007. – С. 83-87.

тезисы докладов и другие издания -

9. Рыжков А.Ф. Перспективы газогенераторных технологий и их внедрение в промышленной энергетике / А.Ф. Рыжков А.Ф., В.Е. Силин, **Р.Ш. Загруддинов**, А.Н. Нагорнов // Труды 3-й Международной научно-практической конференции «Энерго-ресурсосбережение, оптимизация энер-

гопотребления и обеспечение экологической безопасности на предприятиях металлургической, горной и нефтехимической промышленности» / Санкт-Петербург, 25-27 апреля 2005. – С.-Пб: Изд-во: «Санкт-Петербургская электротехническая компания», 2005. – С. 61-62.

10. **Загруддинов Р.Ш.** Экономические аспекты перевода теплотребляющих установок промышленных предприятий Восточно-Казахстанской области на сжигание генераторного газа, полученного из бурого или каменного угля / Р.Ш. Загруддинов, А.Н. Нагорнов, Н.А. Нагорнов, А.Т. Ибрагимов, Н.П. Деревянкин // Энергетика, экология, энергосбережение: Инвестфорум Восточно-Казахстанской области / Тезисы докладов. - Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГТУ, 2005. - С. 31-32.

11. **Загруддинов Р.Ш.** Наладочные испытания газогенераторов типа Лурги на паровоздушном дутье / Загруддинов Р.Ш., Нагорнов А.Н., Сеначин П.К. // Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики» (ЭЭТПЭ-2007): Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием./ Барнаул, 17-20 октября 2007. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2007. – С. 123-124.

12. **Загруддинов Р.Ш.** Технологии газификации углей и производства моторных топлив: Учебное пособие / Р.Ш. Загруддинов, А.Н. Нагорнов, П.К. Сеначин. - Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2008.- 112 с.

Подписано в печать 03.03.2008. Формат 60×84 1/16.

Печать – ризография.

Усл.п.л. 1,39 Тираж 120 экз. Заказ _____ / 2008.

Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензии: ЛР № 020822 от 21.09.98, ПЛД № 28-35 от 15.07.97.
Отпечатано в ЦОП АлтГТУ, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

