

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

на правах рукописи

В. А. НИКОЛАЕВА

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ
ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС
ГАЗИФИКАЦИИ
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТОПЛИВА
В „КИПЯЩЕМ“ СЛОЕ

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва — 1954 г.

Народное хозяйство СССР непрерывно увеличивает спрос на генераторные газы, которые находят применение как энергетическое топливо, технологическое сырье и как бытовой газ.

В директивах XIX съезда КПСС указано: «Обеспечить дальнейшее развитие газовой промышленности. Увеличить за пятилетие, примерно, на 80% добычу природного газа и попутного нефтяного газа, а также производство газа из угля и сланцев. Расширить использование газа для бытовых нужд, применение его в качестве автомобильного топлива и получение из газа химических продуктов».

Выполняя решения XIX съезда КПСС по увеличению мощностей действующих предприятий, промышленная газификация идет по пути интенсификации освоенных уже в промышленности и изыскания более интенсивных новых методов газификации, повышения КПД газификации, применяя при этом кислород и используя мелкозернистое топливо.

К тому же режим строжайшей экономии в области газификации требует новых путей снижения себестоимости газа, так как значительные затраты во многих отраслях промышленности падают на производство газа. Так, например, стоимость газа при производстве синтетического бензина составляет до 70% всех затрат.

Одним из эффективных способов снижения себестоимости газа является применение высокоинтенсивного процесса газификации в «кипящем» слое с использованием низкосортных топлив.

Этот процесс самый высокопроизводительный из всех существующих в настоящее время способов газификации, имеющих широкое промышленное применение (производительность одного агрегата до 40—60 тыс. $\text{м}^3/\text{час}$). Используется дешевое низкосортное топливо, которое по техническим условиям не может быть использовано в слоевых газогенераторах. Газ, полученный этим способом, не содержит смол и не дает феноль-

72444.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР.

ных вод, что упрощает технологическую схему газификации. Отсутствие метана в газе особенно ценно для синтеза. Процесс в «кипящем» слое непрерывный и легкоуправляемый.

Однако до настоящего времени этот процесс с точки зрения его применения в промышленности имеет ряд недостатков: необходимость предварительной подсушки топлива, высокий % CO_2 в газе, обусловленный низкой температурой процесса, большой унос, высокое содержание углерода в выгребе и другие.

Перечисленные недостатки снижают кпд газификации в «кипящем» слое и ограничивают круг топлив, применяемых для этого процесса.

Устранение указанных недостатков может быть достигнуто лишь в результате обстоятельного исследования закономерностей процесса.

На процесс влияют такие факторы, как состав дутья, скорость дутья, влажность и крупность топлива, зольность топлива, природа топлива и т. д.

Изучение отмеченных факторов могло бы способствовать устранению ряда недостатков, которые отрицательно влияют на процесс газификации в «кипящем» слое.

Анализ имеющейся литературы показал, что влияние этих факторов на процесс газификации в «кипящем» слое изучено недостаточно, имеются разноречивые мнения по некоторым вопросам, связанным с этими факторами. В частности, вопрос о температуре слоя топлива имеет ряд противоречивых трактовок.

В связи с этим необходимо дальнейшее изучение процесса газификации в «кипящем» слое с целью установления характера влияния перечисленных факторов на процесс.

Настоящая работа имеет своей целью изучение влияния трех основных факторов: состава дутья, реакционной способности и влажности топлива на состав газа, получающегося в процессе газификации мелкозернистого топлива в «кипящем» слое.

Установка с «кипящим» слоем мелкозернистого топлива и методика исследования

С целью изучения влияния перечисленных факторов на процесс была использована лабораторная установка. Установка позволяла изучать процесс газификации на различных топливах в широком диапазоне температур, поддерживать постоянную высоту «кипящего» слоя, подавать определенное количество топлива (450—1500 г/час), изменять в желаемых соотношениях состав дутья, а также сохранять интенсивность «кипения». Последнее достигалось постоянством объема подаваемой смеси.

Размер зерна топлива и подача выбирались такими, чтобы при определенной скорости газового потока, обеспечивающей подачу, примерно, одной трети воздуха, необходимого для горения, слой топлива находился в состоянии «кипения».

Скорость потока, вызывающего «кипение» слоя, определялась по формуле Н. М. Жаворонкова:

$$W_{\phi} = \frac{8 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v_{\text{св}}^3}{35 \cdot \sigma^2 \cdot \mu},$$

где:

W_{ϕ} — скорость газа, отнесенная к полному сечению, м/сек.

$\gamma_{\text{н}}$ — насыпной вес материала, кг/м³

$v_{\text{св}}$ — доля свободного объема

σ — удельная внешняя поверхность, м²/м³.

μ — вязкость газа, кг/сек/м².

Величина скорости, полученная в результате расчета, уточнялась в предварительных опытах по определению характеристик «кипящего» слоя.

В опытах все виды топлива газифицировались одной и той же фракции от 0,5 до 2 мм.

Опыты проводились в направлении от более низкой температуры к более высокой, вплоть до температуры, при которой начиналось шлакование. Эту температуру мы назвали температурой критической по шлакованию.

Методика работы на установке и обработки экспериментальных данных позволяла получать сравнимые результаты.

Изучение влияния состава дутья на состав газа

Влияние состава дутья на состав газа изучено на нескольких полукоксах: редкинском торфяном, бородинском бурогольном и журиномском каменноугольном.

Исследования проводились на паровоздушном и парокислородном дутье с изменением концентрации пара в подаваемой дутьевой смеси.

Проведенный эксперимент показал, что на всех трех полукоксах повышение содержания пара в дутье снижает температуру процесса и не ведет к увеличению суммы H_2 и CO , что указывает на плохое разложение водяного пара в условиях «кипящего» слоя.

С увеличением количества подаваемого пара при газификации торфяного и бурогольного полукоксов как на паровоздушном, так и на парокислородном дутье происходит рост объемного содержания (об. %) H_2 и CO_2 с одновременным снижением % CO .

Это обстоятельство указывает на протекание реакции конверсии в надслойном пространстве реактора.

При газификации каменноугольного полукокса с увеличением пара в дутье снижается и CO и H_2 с ростом CO_2 . При этом получается газ низкого качества ($Q_{\text{H}} = 450 \div 750$ кал/нм³).

Газ из всех трех полукоксов характеризуется соотношением $\text{CO} : \text{H}_2 < 1$.

С повышением содержания кислорода в дутье, увеличивалось соотношение $\text{CO} : \text{H}_2$, достигая своего максимального значения при температуре критической по шлакованию.

Шлакование наблюдалось при сравнительно низкой температуре слоя топлива, замеряемой на уровне 54 мм от решетки.

Проведенный анализ температур, характеризующих слой на уровне 54 мм от решетки и 5 мм от нее, показал, что «кипящий» слой не имеет одинаковой температуры по всей его высоте, а подобно плотному слою характеризуется наличием 2 температурных зон: кислородной и восстановительной.

С увеличением добавок пара к дутью наблюдается размыв нижней кислородной зоны и, наоборот, со снижением количества пара, подаваемого в газогенератор, — концентрация кислородной зоны, что ведет к росту разницы между температурами двух зон.

Исследование показало, что высокая температура кислородной зоны, а не средняя температура слоя, является причиной зашлаковывания нижней части реактора.

И в то же время только изменением состава дутья в сторону повышения температуры процесса можно получить лучший газ (по сумме $\text{CO} + \text{H}_2$ и соотношению $\text{CO} : \text{H}_2$), чем это имело место в наших опытах.

Но, в свою очередь, повышение температуры ведет к образованию шлака в нижней части реактора, а, следовательно, к нарушению нормального протекания процесса.

Отсюда следует, что изменение конструкции современного газогенератора, которое бы предусматривало более совершенное, чем теперь, принудительное удаление шлака из нижней части генератора, позволит проводить процесс в «кипящем» слое при высоких температурах с более эффективным использованием принципа «кипящего» слоя в промышленной газификации.

Изучение влияния реакционной способности топлива на состав газа

Вопрос влияния состава дутья на состав газа неразрывно связан с природой газифицируемого топлива, а, именно, с реакционной способностью топлива, одним из основных фак-

торов, определяющих предельные температуры в «кипящем» слое.

Данный вопрос особо важное значение приобретает в связи с использованием мелочи каменных углей, учитывая, что при добыче целого ряда каменных углей выход класса 0 — 12 мм составляет от 15 до 45%.

Изучение данного вопроса проведено при разных температурах (770—1030°С) на трех заведомо различных по реакционной способности полукоксах: торфяном, буроугольном и каменноугольном.

При сравнении результатов газификации на этих полукоксах показаны различия в свойствах полукоксов, проявляющихся в процессе газификации в «кипящем» слое.

Различия наблюдаются в температурах процесса (температура на уровне 54 мм от решетки) и в полученном при этих температурах газе.

Процесс газификации на торфяном полукоксе характеризуется низкими температурами по сравнению с буроугольным и каменноугольным полукоксами.

Температура процесса на торфяном полукоксе в зависимости от режима дутья находится на уровне 770—840°С. Далее, температура на буроугольном полукоксе сравнительно выше 820 — 970°С.

При газификации каменноугольного полукокса устанавливается температура 900—1030°С.

Температура процесса указывает на различное отношение того или иного вида полукокса к газифицирующим компонентам: водяному пару и углекислоте.

Несмотря на низкую температуру, газ торфяного полукокса отличается низким содержанием CO_2 и более высоким содержанием CO по сравнению с буроугольным и тем более каменноугольным полукоксами. Так, при температуре 840°С на торфяном полукоксе получен газ с содержанием CO_2 — 11,0%; CO — 17,5%; на буроугольном газ содержит: CO_2 — 14,1%; CO — 14,3%, а на каменноугольном при этой же температуре мог бы получиться газ, содержащий CO_2 — 18,0%; CO — 3,2%.

Из проведенного краткого сравнения результатов газификации 3 различных по активности полукоксов вытекает, что лучший газ при сравнительно низких температурах получается из «молодых» топлив: торфяного и буроугольного полукоксов, более активных, чем каменноугольный полукокс.

Такое поведение может быть объяснено как величиной активной поверхности, так и величиной энергии активации реакций восстановления. Например, известно, что коксы

«молодых» топлив обладают значительно меньшими энергиями активации при реагировании с углекислотой, нежели коксы каменных углей и антрациты.

В условиях «кипящего» слоя при газификации малоактивных топлив получается газ с низкой теплотворностью.

Нами показано, что на каменноугольном полукоксе можно получить на парокислородном дутье при температуре 1080—1100°С такие же результаты (по составу газа), как и на бородинском бурoughольном полукоксе.

Но подъем температуры до уровня 1080—1100°С приведет к зашлаковыванию нижней части генератора. Поэтому использование мелочи каменных углей возможно при условии более совершенного, чем в настоящее время, принудительного удаления шлака из нижней части генератора.

При экспериментировании также отмечено влияние активности топлива на размеры кислородной зоны по высоте, т. е. на концентрацию зоны. Чем активнее топливо, тем меньше высота кислородной зоны, а с понижением активности кислородная зона растягивается, на что указывает перемещение высоких температур в более высокие горизонты слоя. В силу этого обстоятельства при газификации малоактивного каменноугольного полукокса термopара, установленная на уровне 5 мм от решетки, показывала низкую температуру 770—880°С в зависимости от состава дутья, в то время как температура на этом же уровне для торфяного полукокса составляла 800—1070°С.

Влияние влажности газифицируемого топлива на состав газа

Этот вопрос изучался на бородинском буром угле с влажностью: 10,7; 15,0 и 19,8%.

Исследования проведены на воздушном, паровоздушном (температура паронасыщения 50,55 и 60°С) и парокислородном дутье (температура паронасыщения 92, 91 и 90°С).

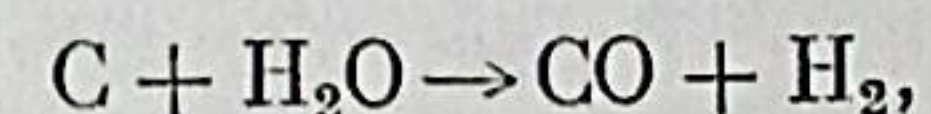
Опыты показывают, что при указанной влажности при переходе от воздушного дутья к паровоздушному сумма CO и H_2 в газе остается постоянной, а с увеличением количества добавляемого пара в газе растет содержание H_2 и CO_2 при одновременном падении CO . Повидимому, этот факт может указывать на протекание реакции конверсии окиси углерода, которую мы отмечали при газификации активных полукоксos — торфяного и бурoughольного.

При сравнении газа, получаемого при газификации углей с $W = 10, 15$ и 20% , оказывается, что влага топлива в исследуе-

мых пределах не оказывает существенного влияния на состав газа.

На воздушном дутье соответственно для каждого угля получен газ с содержанием $\text{CO} + \text{H}_2$ — 33,07; 34,57 и 35,76%. Максимальная разница по сумме горючих компонентов всего лишь 2,5%.

Некоторый, хотя и незначительный, рост содержания CO и H_2 при увеличении влаги в газифицируемом топливе, свидетельствует об участии влаги топлива в процессе газификации по реакции:



давая при этом дополнительные количества CO и H_2 .

Кажущаяся степень разложения пара, подсчитанная для воздушного дутья, показала, что в случае 10% влажности вся влага топлива и внешняя и пирогенетическая разлагается, ($\alpha = 103,0\%$), а с дальнейшим увеличением содержания влаги степень разложения снижается ($\alpha = 96,5$; $\alpha = 88,5$).

При работе на парокислородном дутье полученный газ на угле с различной влажностью (в исследуемых пределах) мало отличается по составу.

Показано, что в результате газификации угля с $W = 20\%$ можно получить аналогичный по составу газ, как и при газификации угля с $W = 10\%$, но при повышенном расходе кислорода на $1 \text{ м}^3 \text{ CO} + \text{H}_2$, а, именно, на 2,3% при одном и том же режиме дутья (температура паронасыщения — 92°С).

Сравнение результатов газификации на лабораторной установке с результатами газификации на промышленном газогенераторе

Результаты газификации бородинского бурого угля в лабораторном аппарате сравнивались с результатами газификации близкого по природе райчихинского бурого угля в промышленном газогенераторе.

Сравнение этих результатов подтверждает соответствие лабораторных данных с данными промышленной газификации.

Такая аналогия открывает возможность в лабораторных условиях более глубокого изучения процесса в «кипящем» слое, что не всегда удается сделать в промышленных условиях.

Так, например, в небольшом аппарате, в котором проводились изложенные здесь исследования, прогазифицировав то или иное топливо, можно дать ему приблизительную оценку

в отношении его использования для целей газификации в «кипящем» слое и определения вероятного состава газа.

Лабораторная установка может имитировать промышленный процесс в «кипящем» слое в связи с тем, что условия протекания процесса газификации аналогичны.

Общие выводы

1. Метод газификации мелкозернистого топлива в «кипящем» слое в настоящее время является самым высокопроизводительным из всех методов газификации, имеющих широкое промышленное применение.

Анализ литературы показал, что, несмотря на наличие значительного числа научно-исследовательских работ, процесс газификации в «кипящем» слое изучен недостаточно.

Имеющиеся в литературе сведения неполны и противоречивы, поэтому требуются дополнительные исследования для конкретных условий проведения процесса газификации.

II. Исследовано влияние состава дутья на состав получаемого газа на трех полукоксах: торфяном, бурогоугольном и каменноугольном. При этом показано, что:

а) Газ с наивысшей суммой $\text{CO} + \text{H}_2$ получается при температуре критической по шлакованию на всех видах топлива как на паровоздушном, так и на парокислородном дутье.

б) С повышением содержания пара как в паровоздушном, так и в парокислородном дутье наблюдается рост CO_2 и H_2 и снижение содержания в газе CO при газификации торфяного и бурогоугольного полукоксов, а также бородинского бурого угля.

В противоположность этому на каменноугольном полукоксе происходит снижение содержания CO и H_2 при одновременном увеличении CO_2 .

в) При газификации активных топлив наряду с основными реакциями газификации играет заметную роль, оказывая значительное влияние на суммарный процесс, реакция конверсии окиси углерода.

г) При газификации каменноугольного полукокса получается газ более низкого качества ($Q_{\text{H}} = 450 \div 740$ кал/нм³), чем при газификации торфяного и бурогоугольного полукоксов ($Q_{\text{H}} = 1000 \div 1100$ кал/нм³).

д) Возможность получения газа с большей суммой восстановительных компонентов, чем мы имеем в наших опытах, связана с ведением процесса при более высоких температурах, ведущих к шлакованию.

е) В настоящее время в промышленных условиях процесс в «кипящем» слое ведется при температуре критической по шлакованию. Вопрос повышения температуры, а следовательно-

но, улучшения показателей по качеству газа связан с усовершенствованием существующего метода принудительного шлакоудаления.

III. Изучено влияние реакционной способности топлива на процесс газификации на трех различных по природе полукоксах: торфяном, бурогоугольном и каменноугольном.

а) Показано, что активность топлива и связанная с ней температура процесса являются определяющими факторами в выборе топлива для целей газификации в «кипящем» слое. Наиболее целесообразно использовать топлива «молодые» с повышенной реакционной способностью.

б) Конструкции современных газогенераторов, имеющих органы принудительного золоудаления или не имеющих их вовсе, не позволяют полностью использовать преимущества газификации в «кипящем» слое.

IV. Исследовано влияние влажности топлива на состав газа в процессе газификации бородинского бурого угля влажностью 10,8; 15,0 и 19,8%.

а) Экспериментами на воздушном и паровоздушном дутье показано, что содержащаяся в топливе внешняя и пирогенетическая влага участвует в процессе газификации с образованием H_2 и CO .

б) Влажность топлива в исследуемых пределах не оказывает существенного влияния на состав получаемого газа и является, в основном, физическим агентом охлаждения.

в) Возможно газифицировать топливо с $W = 20\%$ и получать удовлетворительные результаты.

г) Расход кислорода на сумму $\text{CO} + \text{H}_2$ при увеличении влажности топлива с принятой в настоящее время — 15 до 20% ведет к некоторому увеличению расхода кислорода (1,7—2,3%).

Об экономической целесообразности применения топлива с $W = 20\%$ можно говорить лишь на основании технико-экономического расчета.

V. Попутно с решением основных задач темы исследовано распределение температур по высоте «кипящего» слоя.

а) На всех режимах дутья наблюдается разделение «кипящего» слоя топлива на две температурные зоны: кислородную и восстановительную.

Температура кислородной зоны, замеряемая вблизи решетки, для различных топлив на 30—250°С выше температуры большей части «кипящего» слоя.

б) Установлено, что причиной шлакования является высокая температура кислородной зоны, а не средняя температура слоя.

VI. Проведено сравнение результатов газификации на лабораторной установке с результатами газификации на промышленном газогенераторе.

а) Результаты газификации показали сходство как в составе получаемого газа, так и в температурах процесса.

Указанная аналогия позволяет ставить вопросы о применении такой установки для лабораторного определения пригодности топлива в целях газификации в «кипящем» слое и о вероятных показателях качества получаемого газа.

72444.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР