

1/204  
Бесплатно

А К А Д Е М И Я   Н А У К   С С С Р  
ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Н. П. ВОЗНЕСЕНСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ  
НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ  
И ВЫЯВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ,  
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ  
КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ  
ТРАНСПОРТНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

А  
5208



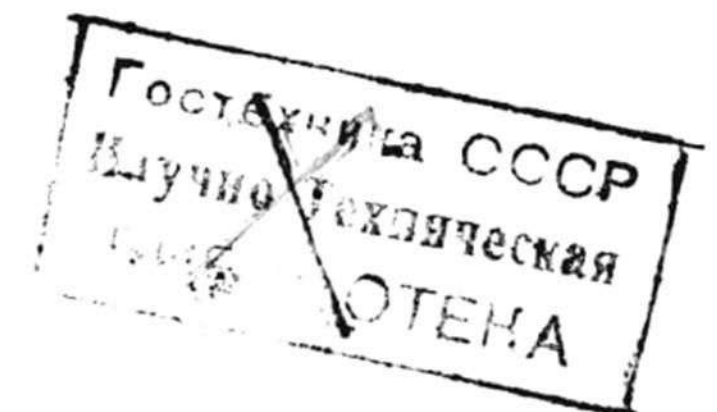
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
Москва 1950 Ленинград

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Н. П. ВОЗНЕСЕНСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ  
НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ  
ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ  
И ВЫЯВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ,  
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ  
КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ  
ТРАНСПОРТНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
*Москва 1950 Ленинград*

Гос. Научн. библиотека  
Г. Н. Б.  
Мин. Высш. Образов.

1469/6  
52

СЕРИО  
1994 г.

A  
5908

## I

Состояние теории газогенераторного процесса в настоящее время таково, что она во многих случаях лишь подводит теоретическую базу под процессы, уже осуществляемые на практике.

Конструирование ведется эмпирическим путем. До сих пор нет научно обоснованного расчета основных конструктивных размеров аппаратов, к каковым, например, принадлежит минимально необходимая и достаточная для завершения процесса высота камеры газификации.

Течение физико-химических процессов теоретически не увязано с геометрическими размерами слоя топлива в аппарате.

Физико-химические факторы, от которых зависят основные размеры аппаратов, не связаны между собой математически таким образом, чтобы из их соотношения можно было предопределить основные конструктивные размеры газогенератора.

До сих пор эта задача не выполнена потому, что протекающие процессы весьма сложны, и если попытаться решить задачу в общем виде, т. е. не принять мер к устранению побочных факторов (которые могли бы быть для упрощения задачи опущены), то математические выражения такого решения получаются настолько громоздкими, что применение их на практике исключается.

Данная работа, наряду с исследованием некоторых закономерностей процесса газификации и горения твердого топлива, представляет первую попытку увязать основные физико-химические параметры процесса с конструктивными размерами.

Чтобы разработать практически пригодный метод расчета, нужно разобраться во всей сложности действующих



факторов и выделить из них основные параметры, на которые будет ориентирован метод расчета.

Однако, прежде чем привести параметры в систему, необходимо их выявить. Оказывается, что в различных условиях ведения процесса газификации им управляют различные факторы. Например, в ряде конкретных условий процесс может управляться физическими факторами вместо обычно приписываемых ему химических (диффузионная область); может быть и противоположный случай.

Поэтому основная часть данной работы посвящена исследованию ряда закономерностей, выявлению действующих факторов и учету их влияния на течение процесса и конструктивные размеры. Из большого числа действующих факторов мы должны отбросить несущественные, второстепенные, оказывающие слабое влияние на течение процесса газификации, и отобрать главные, определяющие, на которых, с известным приближением, и строить свои выводы.

## II

Аналитическое исследование процесса газообразования в слое топлива должно быть основано на физико-химической схеме процесса и вытекающих из нее граничных условиях.

Физическая схема газообразования должна быть обоснована анализом возможных путей транспорта реагентов к реакционной поверхности.

Химическая схема газообразования должна опираться на наиболее вероятный и научно обоснованный механизм химического реагирования.

Начнем с анализа путей транспорта реагентов. Этот вопрос связан с характером газовых потоков в слое топлива.

Наши визуальные наблюдения и киносъемка модели слоя из битого стекла показали, что при  $Re = 50$  размыв струек краски, текущей по зазорам между кусками, слабый: краска течет полосками, которые огибают куски топлива. Характер движения близок к ламинарному. При повышении  $Re$  размыв краски увеличивается и при  $Re = 200$  заметна лишь незначительная неравномерность в окраске по зазорам. При  $Re = 500$  краска очень

хорошо перемешана в пределах данного зазора. Можно сказать, что турбулентный характер движения в слое наступает при числе  $Re$  свыше 50.

Указанное значение числа Рейнольдса для слоя подтверждается данными, имеющимися в литературе.

Между тем, вычисленное значение критерия Рейнольдса для слоя топлива в средних условиях работы транспортного газогенератора, на обычной нагрузке, было следующим:

а) принимая за определяющий размер средний размер куска,  $Re = 862$ ;

б) принимая за определяющий размер эквивалентный диаметр,  $Re = 417$ .

Это обстоятельство указывает, что газовый поток, проходящий по слою топлива в активной зоне транспортных газогенераторов, имеет турбулентный характер при всех режимах работы двигателя.

Турбулентный характер газового потока будет наблюдаться и во всех иных работающих со слоем топлива газогенераторах и топочных устройствах, где  $Re$  превышает 50.

Краска, выпущенная струйкой в поток по слою, даже при  $Re = 500$  не распределяется сразу равномерно по всему его сечению, а лишь на определенном, довольно значительном участке шириной в несколько диаметров частиц. Все же можно констатировать, что перемешивающее действие слоя весьма значительное; так, при диаметре струйки краски у выходного отверстия в 1 мм краска на пути в 20 мм распространилась в направлении, перпендикулярном к направлению потока, на 35 мм. Поэтому при поступлении воздуха в слой из ряда фурм или из-под колосниковой решетки следует ожидать достаточной равномерности концентраций в пределах данного сечения.

Критический анализ исследовательских работ показал, что вопрос о том, достигают ли турбулентные пульсации поверхности или затухают, по мере приближения к ней, на конечном от нее расстоянии, остается невыясненным.

Большинство авторов придерживается мнения о возможности существования ламинарного пограничного слоя при турбулентном потоке, подтверждая это некоторыми опытными данными.

В теории теплопередачи укоренилось представление



о ламинарном пограничном слое, в котором перенос тепла осуществляется путем теплопроводности.

Наши приближенные расчеты, опирающиеся на опыты, указывали на вероятность существования ламинарного подслоя при турбулентном движении потока в засыпке. Однако эти расчеты учитывали лишь особенности засыпки слоя топлива и данные гидродинамики, но не учитывали специфики горячей поверхности топлива.

К настоящему времени в литературе накопились различные толкования механизма переноса в пограничном слое на горячей поверхности твердого топлива. Некоторые авторы считают вполне вероятным наличие ламинарной пленки (ориентируясь на данные Прандтля, Кармана и Франк-Каменецкого) у горячей поверхности, перенос вещества через которую происходит при помощи молекулярной диффузии. Другие, напротив, считают, что подобного диффузионного слоя не существует и перенос вещества до самой реакционной поверхности топлива осуществляется турбулентными пульсациями.

Существует и третье мнение, а именно, что механизм переноса вещества в пограничном слое при горении имеет свою специфику и поэтому нельзя, ориентируясь на данные гидродинамики, предопределить характер этого переноса.

Большинство авторов строит свои теоретические представления о том или ином характере переноса веществ в пограничном слое, используя закономерности гидродинамики, без учета специфики процесса горения.

Если даже не принимать во внимание этой специфики, все же точный аналитический подход к решению этой проблемы исключительно осложнен неопределенностью геометрических элементов слоя топлива.

Если же принять во внимание безусловное наличие специфики переноса веществ в пограничном слое на горячей поверхности твердого топлива, то становится ясной безнадежность применения закономерностей гидродинамики для точного выяснения теоретическим путем характера переноса веществ в пограничном слое в условиях горения.

Попытки подойти теоретическим путем к поставленной проблеме, используя геометрию поверхности и математический аппарат гидродинамики, не дали и не могли дать решение вопроса для случая горения твердого топлива,

так как в них рассматривались лишь частные случаи и результаты были иногда диаметрально противоположны.

В связи с этим мы пришли к выводу о необходимости для освещения проблемы переноса вещества к горячей поверхности твердого топлива использовать поставленный соответствующим образом эксперимент.

Свои экспериментальные работы мы проводили по разработанной нами методике с применением визуальных наблюдений за горением угольной поверхности вооруженным глазом.

Наблюдения эти сопровождалась микрокиносъемкой области пограничного слоя на горячей поверхности. Заснятый фильм состоит из двух частей, общим объемом 250 м, на чернобелой и цветной пленке.

Проведенные работы позволили установить механизм переноса вещества в пограничном слое на горячей поверхности твердого топлива.

Что касается химической схемы газообразования, положенной в основу аналитического исследования, то мы ее приняли, используя соответствующие выводы А. С. Предводителя.

### III

Принимая во внимание сложность процесса газификации и его зависимость от большого числа факторов для получения четких и простых выводов, необходимо отделить первостепенные, определяющие параметры от второстепенных, не имеющих большого влияния на ход процесса, с тем чтобы исключить последние при выводах.

Установление областей протекания процесса поможет установить главные, определяющие параметры.

В нашей работе мы показали, что при наличии двух сторон процесса: а) транспорта веществ, участвующих в реакции, и б) расхода веществ на реакцию не может существовать четырех предельных областей протекания процесса, как понимается обычно. Предельных областей может быть только две.

Для определения условий приближения к той или иной области воспользуемся глубиной проникновения реакции в пористую массу куска топлива.



Количество прореагировавшего вещества (например, кислорода) в единицу времени:

$$kcbFdx.$$

Обозначения:

$k$  — константа скорости реакции;  
 $c$  — концентрация реагента в толще куска на расстоянии  $x$  от поверхности;  
 $D$  — коэффициент диффузии;  
 $b$  — поверхность пор в единице объема топливной массы;  
 $F$  — площадь сечения участка.

Количество вещества, перенесенного диффузией до плоскости  $x$ :

$$-DF \frac{dc}{dx};$$

то же до плоскости  $(x + dx)$ :

$$-DF \frac{d}{dx} (c - dc);$$

$$-DF \frac{dc}{dx} + DF \frac{d}{dx} (c - dc) = kcbFdx,$$

или

$$-DF \frac{dc}{dx} + DF \frac{dc}{dx} - DF \frac{d(dc)}{dx} = kcbFdx,$$

или

$$-DF \frac{d(dc)}{dx} = kcbFdx,$$

т. е.

$$\frac{d^2c}{dx^2} = -\frac{kb}{D}c;$$

$$\text{обозначая } N = \frac{k \cdot b}{D},$$

$$\frac{d^2c}{dx^2} = -Nc.$$

Решение уравнения будет:

$$c = A \cos(\sqrt{N}x) + B \sin(\sqrt{N}x).$$

Постоянные  $A$  и  $B$  находим из граничных условий и значения первой производной:

$$\frac{dc}{dx} = -A \sqrt{N} \sin(\sqrt{N}x) + B \sqrt{N} \cos(\sqrt{N}x)$$

$$\text{при } x = 0, c = c_0, A = c_0 \text{ и } D \frac{dc}{dx} = -kc_0, B = -\frac{k \cdot c_0}{D \sqrt{N}};$$

$$c = c_0 \cos(\sqrt{N}x) - \frac{kc_0}{D \sqrt{N}} \sin(\sqrt{N}x).$$

При полном расходе реагента  $c = 0$ :

$$\operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{kb}{D}}x\right) = \sqrt{\frac{Db}{k}}.$$

Приближение к кинетической области характеризуется безграничным возрастанием  $x$ , т. е. реакция идет по всей внутренней поверхности пор массы кусков топлива.

Приближение к диффузионной области характеризуется выходом реакции на поверхность, т. е. глубина проникновения  $x$  весьма мала.

Промежуточная область характеризуется некоторой определенной глубиной проникновения.

Разумеется, что при любой области протекания процесса количество прореагировавших веществ должно быть равно количеству доставленных веществ; но приближение, например, к диффузионной области означает, что можно интенсифицировать производительность воздействием на факторы переноса, т. е. увеличивая перенос, мы повысим и производительность.

В последнем случае для увеличения производительности необходимо ускорить течение химической реакции (например, повысить температуру).

#### IV

Наблюдения вооруженным глазом и микрокиносъемка области пограничного слоя на горячей поверхности



твердого топлива, впервые проведенные нами, даже на первых этапах своего выполнения много дали для освещения проблемы переноса в указанной области при горении топлива в слое.

Весьма существенно, что примененный метод ни в какой мере не нарушал течения процесса горения и структуры области пограничного слоя.

Микрокиноустановка, смонтированная нами, состояла из ряда систем: оптической, электрической, подачи и дозировки дутья, механизмов управления перемещением реакционной трубки и измерительных приборов.

Для защиты микроскопической оптики от теплового воздействия был изготовлен тепловой фильтр. В связи с необходимостью микрокино съемки в отраженном свете, пришлось применить мощные приборы освещения, сконцентрировав свет от источников в 6000 ватт на площади не более 1 см<sup>2</sup>.

Для поддержания требуемой температуры электродного угля и антрацита через образцы пропускаться электроток.

Древесный уголь нагревался и горел под действием непосредственного контакта с разогреваемым электродным углем.

Необходимо заметить, что о работе по визуальным наблюдениям и микрокино съемке области пограничного слоя судить без просмотра фильма довольно трудно. Фильм показывает динамику процесса нарастания и уноса зольных отложений, характер разрушения поверхности, пространственное размещение мест протекания реакций и размеры некоторых элементов диффузионного слоя.

Не имея возможности привести в автореферате значительный микрофотоматериал, даю некоторые выводы из проделанной работы.

1. Область пограничного слоя на горячей поверхности твердого топлива резко отличается по своей структуре от существующего в гидродинамике понятия о пограничном слое, переносимого и на процессы транспорта веществ при гетерогенных процессах.

Пограничная область между реакционной поверхностью и газовым потоком при горении твердого топлива в значительной мере заполнена рыхлой пористой массой — неорганическим продуктом, остающимся после расхо-

вания органических составляющих массы куска топлива.<sup>1</sup>

2. Многочисленные микроскопические поры, каналы и пустоты на границе газового потока с реакционной поверхностью создают условия существования «застойного» пограничного газового слоя.<sup>2</sup>

3. Толщина пористого, выработанного реакцией поверхностного слоя зависит от сорта топлива и от скорости газового потока. С увеличением последней верхняя часть слоя золы, слабее связанная с основной массой куска топлива, сдувается и слой золы становится тоньше. На некоторых сортах топлива, при известных скоростях потока, слой золы виден лишь в микроскоп.

4. Для случая горения древесного угля при  $Re = 1300$  и  $V = 3$  м/сек толщина выработанного слоя на боковой и лобовой частях куска топлива была около 0,20—0,30 мм. В тыльной части куска древесного угля толщина озоленного слоя была много больше. Величины зольного слоя незначительно уменьшались с увеличением скорости потока до 8 м/сек.

5. Размеры пор в выработанной части древесного угля в их исходном, мало деформированном состоянии приблизительно следующие: поперечное сечение от 0,015 до 0,036 мм, длина в несколько раз большая — от 0,15 до 0,20 мм.

6. Толщина выработанного слоя при  $V$ , достигающей 8 м/сек, а следовательно и толщина «застойного» газового слоя в его порах, во много раз больше толщины предполагаемого ламинарного подслоя Прандтля. По данным, приведенным у В. Левич (108), толщина ламинарного подслоя составляет от  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$  см, причем он считает эти величины сильно преувеличенными.

7. «Застойный» газовый подслоя при горении твердого топлива образуется не только в порах зольной оболочки, но и в микротрещинах кусков топлива. Визуальные микроскопические наблюдения и микрокино съемка показывают,

<sup>1</sup> Речь идет о структуре припериферийных частей куска. С этой точки зрения, реакции как бы «вырабатывают» поверхностный слой, унося из него углерод и оставляя неорганическую массу.

<sup>2</sup> В значительной мере застойного.



что реакция в основном идет на периферийном слое куска топлива, под зольной оболочкой, почти не заходя в микротрещины. В микроскоп отчетливо видно, что излом по микротрещине не озолен.

Подмеченное нами обстоятельство говорит:

а) о значительных скоростях реакции горения по сравнению со скоростью переноса веществ диффузией в области трещин, т. е. о приближении к диффузионной области;

б) об отсутствии турбулентного переноса в трещинах.

8. Наличие пористого зольного слоя, толщиной от микроскопических величин до значительных размеров, разъясняет представление о механизме переноса вблизи горячей поверхности твердого топлива как о диффузионном процессе. Этим самым в значительной мере разрешается проблема о механизме переноса веществ вблизи горячей поверхности твердого топлива.

9. При скоростях газового потока до 8—10 м/сек, т. е. для диапазона скоростей, в котором работает большинство топочных устройств и газогенераторов, характер переноса вещества в пограничном слое (точнее — вблизи реакционной поверхности твердого топлива) не определяется гидродинамическими схемами Прандтля, Кармана, Ландау и Франк-Каменецкого. Он обусловлен специфической структурой этого подслоя — «застойным» слоем в порах золы даже для такого малозольного топлива, каким является древесный уголь.

10. При расчете промышленных аппаратов и составлении расчетных схем необходимо учитывать найденные особенности условий переноса вещества.

## V

Как уже было указано, визуальные наблюдения и микрокиносъемка области пограничного слоя на горячей поверхности твердого топлива выяснили механизм переноса веществ в этой области.

Перенос вещества в «застойном» слое, в порах выработанной реакцией части куска топлива, осуществляется силами молекулярной диффузии.

Наблюдениями и киносъемкой, проведенными на мо-

дели с прозрачным слоем, выявлено, что при числах Рейнольдса свыше 50 в слое наблюдается турбулентный характер газового потока, где перенос веществ сильно интенсифицирован наличием турбулентных перемешиваний.

В пределах турбулентного ядра перенос интенсифицирован в такой степени, что непосредственные замеры указывают на значительное постоянство концентраций в пределах турбулентного потока в данном сечении, нормальном к его направлению, и большой градиент концентраций вблизи реакционной поверхности.

Выявленная схема переноса вещества в процессе газификации или горения твердого топлива очень хорошо подтверждена нашими наблюдениями и киносъемкой на водяной модели.

На границе турбулентного потока со стенкой была помещена насадка из стеклянной ваты, по своему залеганию напоминающая пористый слой золы на поверхности топлива. Вата создавала в своих порах застойный слой воды. Заснятый цветной фильм наглядно показывает быстрое распространение краски турбулентным потоком в направлении, нормальном к движению потока, и в то же время очень медленное распространение краски в границах насадки из стеклянных волокон.

Скорость распространения краски в потоке в нормальном направлении к его оси больше скорости распространения в стеклянной вате в 100 с лишним раз.

Исходя из всей суммы имеющихся опытных данных, мы пришли к следующей схеме переноса веществ, которая может быть положена в основу аналитических исследований процесса газификации и горения топлива в слое при заданных условиях.

1. Концентрация реагентов по сечению турбулентного газового потока в слое может быть принята постоянной в пределах от центра потока до верхней границы диффузионного слоя.

2. Вполне закономерно для случая горения или газификации топлива в слое отнести весь перепад концентраций к тонкому диффузионному слою у самой реакционной поверхности, который реагенты проходят при помощи молекулярной диффузии.



3. Условно принимая, что реагент для гетерогенного процесса не расходуется в диффузионном слое, можно, для упрощения расчета, считать градиент концентрации постоянным в данном сечении по толщине диффузионного слоя.

4. Чтобы учесть влияние специфики процесса переноса в диффузионном слое на горячей поверхности твердого топлива (стефановский поток), желательно брать конкретные величины коэффициентов диффузии из опытных данных по горению.

Для выявления параметров, определяющих высоту активной зоны газогенераторов, проводим аналитическое исследование процесса газообразования в слое топлива. Оно базируется на выявленном механизме переноса веществ при газификации в слое, на химической схеме газообразования и граничных условиях, вытекающих из физико-химической сущности процесса. Кроме того, механизм переноса непременно связывается с геометрическим расположением мест протекания реакций в слое.

Полагаем, что концентрации реагентов в турбулентном потоке будут постоянными по сечению, но меняющимися с расстоянием от плоскости подвода дутья, в связи с течением реакций. Для получения решения, пригодного к использованию в любых областях течения процесса, концентрация реагентов на реакционной поверхности считается неизвестной и должна быть определена. Концентрация на поверхности также переменна по толщине слоя. Что касается расположения мест протекания гетерогенных реакций (периферия кусков или вся масса кусков), то для выяснения этого вопроса нами была проведена экспериментальная работа, изложенная в разделе VII, которая показала, что течение реакций газификации в условиях транспортных газогенераторов происходит в периферийных частях кусков топлива.

Химическая схема газообразования предусматривает параллельное образование  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$  в кислородной зоне. Восстановление  $\text{CO}_2$  происходит преимущественно в зоне восстановления.

Количество прореагировавшего вещества на поверхности элементарного объема слоя, находящегося на расстоянии  $x$  от плоскости подвода дутья, в единицу времени будет:

$$b \cdot F \cdot k \cdot c_0 \cdot dx.$$

Это количество доставляется путем диффузии

$$\frac{DbF(c_0 - c)}{\delta} dx;$$

следовательно,

$$\frac{DbF(c_0 - c) \cdot dx}{\delta} = -bFkc_0 dx,$$

откуда

$$c_0 = \frac{Dc}{D + \delta k}. \quad (10-15)$$

Количество подведенного реагента к сечению  $x$ , при помощи вынужденного конвективного переноса, в единицу времени будет:

$$VFmc(x).$$

Количество неизрасходованного реагента в слое  $F \cdot dx$  и вышедшего из него в сечении  $(x + dx)$ :

$$VFmc(x + dx).$$

Израсходовано в слое  $Fdx$ :

$$VFmc(x) - VFmc(x + dx) \approx VFmdc;$$

следовательно,

$$VFmdc = \frac{DbF(c_0 - c)}{\delta} dx.$$

Но, согласно (10-15),

$$c_0 = \frac{Dc}{D + \delta k};$$

следовательно,

$$VFmdc = \frac{DbF\left(\frac{Dc}{D + \delta k} - c\right)}{\delta} dx.$$

Преобразовывая, получаем основное дифференциальное уравнение:

$$\frac{dc}{dx} = - \frac{bDk}{(D + \delta k)Vm} c. \quad (10-16)$$

Используем полученное дифференциальное уравнение для установления высоты кислородной зоны. Кислород здесь расходуется по двум совместно протекающим реакциям с константами  $k_{CO}$  и  $k_{CO_2}$ .

$$\frac{dc}{dx} = - \left[ \frac{bDk_{CO}}{(D + \delta k_{CO})Vm} + \frac{bDk_{CO_2}}{(D + \delta k_{CO_2})Vm} \right] c; \quad (10-17)$$

$$\frac{dc}{dx} = - \frac{bD}{Vm} \left[ \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right] c. \quad (10-18)$$

Распределение концентраций кислорода по высоте активной зоны в диффузионной области:

$$\frac{dc}{dx} = - \frac{bD}{Vm\delta} c,$$

откуда

$$c = B \cdot e^{-\frac{bD}{Vm\delta} x}.$$

При  $x = 0$ ,  $c = c_0$ ; следовательно,

$$c = c_0 e^{-\frac{bD}{Vm\delta} x},$$

или

$$c = c_0 e^{-Mx}.$$

Распределение концентраций кислорода в промежуточной области найдется интегрированием (10-18):

$$\int \left[ \frac{dc}{c} + \frac{bD}{Vm} \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right) dx \right] =$$

$$= \ln c + \frac{bD}{Vm} \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right) x = A.$$

$$\ln c = A - \frac{bD}{Vm} \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right) x,$$

$$c = e^{A - \frac{bD}{Vm} \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right) x},$$

или

$$c = Be^{-\frac{bD}{Vm} \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right) x}.$$

При  $x = 0$ ,  $c = c_0$ ; следовательно,  $c_0 = Be = B$ ; имеем окончательно:

$$c = c_0 e^{-\frac{bD}{Vm} \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right) x}, \quad (10-21)$$

или, в общем виде,

$$c = c_0 e^{-M'x}.$$

Распределение концентраций кислорода в кинетической области. Из уравнения (10-17) получаем:

$$\frac{dc}{dx} = - \left[ \frac{bk_{CO}}{\left(1 + \frac{\delta k_{CO}}{D}\right) Vm} + \frac{bk_{CO_2}}{\left(1 + \frac{\delta k_{CO_2}}{D}\right) Vm} \right] c.$$

Приближение к кинетической области характеризуется бесконечным уменьшением  $\frac{k_{CO}}{D}$  и  $\frac{k_{CO_2}}{D}$ ; поэтому

$$\frac{dc}{dx} = - \frac{b}{Vm} (k_{CO} + k_{CO_2}) c. \quad (10-20)$$

Аналогично предыдущему, интегрируя и принимая те же граничные условия, имеем:

$$c = c_0 e^{-\frac{b}{Vm} (k_{CO} + k_{CO_2}) x}. \quad (10-23)$$

Имея распределение концентраций кислорода по высоте слоя топлива, находим размеры кислородных зон в различных областях.

а) для диффузионной области

$$c_k = c_0 e^{-\frac{bD}{Vm\delta} x};$$

логарифмируем:

$$\ln c_k = \ln c_0 - \frac{bD}{Vm\delta} x,$$

откуда

$$x = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) Vm\delta}{bD}. \quad (10-24)$$



Для воздушного дутья можно принять

$$\frac{c_0}{c_k} \approx 0,1;$$

тогда

$$x = - \frac{\ln 0,1 \delta V m}{D b} . \quad (10-11)$$

б) Для промежуточной области из уравнения (10-21), произведя подобные действия, получаем

$$x = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m}{b D \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right)} , \quad (10-27)$$

или, аналогично уравнению (10-11) для воздушного дутья,

$$x = - \frac{\ln 0,1 V m}{b D \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right)} . \quad (10-26)$$

в) Для кинетической области, соответственно, имеем:

$$x = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m}{b (k_{CO} + k_{CO_2})} \quad (10-30)$$

и

$$x = - \frac{\ln 0,1 V m}{b (k_{CO} + k_{CO_2})} . \quad (10-29)$$

Размер зоны восстановления находим аналогичным способом, используя основное дифференциальное уравнение (10-16). Окончательный результат таков:

а) Для диффузионной области

$$x_2 = \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m \delta_2}{b D_2} . \quad (10-43)$$

б) Для промежуточной области

$$x_2 = \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) (D_2 + \delta_2 k_2) V m}{b D_2 k_2} . \quad (10-46)$$

в) Для кинетической области

$$x_2 = \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m}{b k_2} . \quad (10-49)$$

Размер активной зоны

$$H = x + x_2 .$$

а) При протекании процесса горения в диффузионной области и процесса восстановления — в промежуточной

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m \delta}{b D} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) (D_2 + \delta_2 k_2) V m}{b D_2 k_2} . \quad (10-51)$$

б) При протекании процесса в диффузионной области в пределах всей активной зоны

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m \delta}{b D} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m \delta_2}{b D_2} . \quad (10-52)$$

в) При протекании процесса горения в диффузионной области и процесса восстановления — в кинетической

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m \delta}{b D} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m}{b k_2} . \quad (10-53)$$

г) При протекании всего процесса в активной зоне в промежуточной области

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m}{b D \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right)} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) (D_2 + \delta_2 k_2) V m}{b D_2 k_2} . \quad (10-54)$$

д) При протекании процесса горения в промежуточной области, а процесса восстановления — в кинетической

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m}{b D \left( \frac{k_{CO}}{D + \delta k_{CO}} + \frac{k_{CO_2}}{D + \delta k_{CO_2}} \right)} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m}{b k_2} . \quad (10-55)$$

е) При протекании процесса горения и процесса восстановления в кинетической области

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m}{b (k_{CO} + k_{CO_2})} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m}{b k_2} . \quad (10-56)$$

Из приведенного аналитического исследования видны основные параметры, определяющие высоту активной зоны газогенераторов в различных условиях протекания процесса газификации. Одним из важнейших параметров является удельная свободная поверхность слоя —  $b$ .

Для определения конкретных значений этой величины и коэффициента порозности мы провели экспериментальную и теоретическую работу по особой методике.

Работы по замеру величин поверхности топлива в засыпке произведены следующим путем. Слой топлива с определенным средним диаметром частиц заливался белым, твердеющим по охлаждению составом, в результате чего получался слепок слоя цилиндрической формы. Нормально к оси слепка делались срезы, на которых замерялся суммарный свободный периметр частиц угля, который при газификации соприкасается с газовым потоком. В одном срезе было от 15—20 до 140 частиц. Срезом было 123. Поверхность засыпки, соответствовавшую данному сечению, определяли, исходя из величины суммарного свободного периметра  $P$  и толщины элементарного объема слоя —  $dx$ , как  $P dx$ . Величина элементарного объема —  $F dx$ ; следовательно,  $b = \frac{P}{F}$ .

Прямыми замерами обнаружено замечательное постоянство  $b$  по глубине засыпки для данного размера кусков. Средняя величина ее колебалась в пределах 6—7%, в редких случаях достигая 10%.

За средний диаметр куска топлива данной фракции принято среднее арифметическое из размеров ячеек сит, соответствующих этой реакции, что вносит большую определенность в получаемые цифры, чем все иные, принимаемые различными авторами условности.

Величины удельной свободной поверхности древесного угля в засыпке, соответствующие различным средним диаметрам кусков, приведены в табл. 1.

Выявленная нами и представленная в приведенной выше таблице зависимость  $b = f(d)$  хорошо укладывается в простое выражение

$$b = 1,2 \frac{\pi}{d}, \quad (11-15)$$

Таблица 1

Средний размер частиц угля, мм	$b, \text{ м}^2/\text{м}^3$	Средний размер частиц угля, мм	$b, \text{ м}^2/\text{м}^3$
5	550	35	108
10	350	40	96
15	249	45	86
20	187	50	77
25	149	55	71
30	125	—	—

или

$$b \cdot d = 3,77. \quad (11-16)$$

Произведение свободной удельной поверхности топлива в засыпке на средний диаметр есть величина постоянная<sup>1</sup> и равная для древесного угля 3,77. При пользовании формулами (11—15) и (11—16) в пределах диаметров от 15 до 50 мм погрешность составляет  $\pm 2\%$ .

Средний диаметр куска засыпки, состоящий из ряда фракций, определится из выражения:

$$d_{\text{ср}} = \frac{V_1 b_1 d_1 + V_2 b_2 d_2 + \dots + V_n b_n d_n}{V_1 b_1 + V_2 b_2 + \dots + V_n b_n} = \frac{\sum V_x b_x d_x}{\sum V_x b_x}. \quad (11-17)$$

Коэффициент порозности  $m$  засыпки из древесного угля, определенный нами для различных фракций путем заливки межкускового пространства водой, оказался равным в среднем 0,45 при диаметрах кусков от 8 до 48 мм. Погрешность этих замеров колебалась от 1 до 3%.

Выше было указано, что глубина проникновения реакции в пористую углеродную массу куска топлива является надежным признаком для выяснения условий, в которых протекает процесс. Работа, поставленная с целью выяснения глубины проникновения реакции в конкретных случаях промышленной газификации, не только дает критерий для отнесения условий протекания процессов

<sup>1</sup> Найденное нами безразмерное выражение  $bd$  хорошо отображает степени развитости поверхности и может быть названо коэффициентом поверхности слоя.



к той или иной области, но и выявляет геометрическое расположение мест течения этих реакций в слое для промышленных аппаратов.

Знание места протекания реакции позволяет определить параметр, на который следует ориентироваться при расчетах, будет ли это поверхность топлива в камере или его объем. В первом случае производительность аппарата должна быть пропорциональна удельной свободной поверхности топлива, во втором случае — его объему.

Для исследования отбирались пробы топлива из активной зоны транспортных газогенераторов (Г-19, Ибмерт, УНИИМЭ-21 и 23). Процесс газификации в активной зоне этих газогенераторов протекает на древесном угле, который, в силу своей пористости и многочисленности микро-трещин, является хорошим эталоном для суждения о глубине проникновения.

С периферийных частей кусков угля, вынутых из газогенератора, соскребались последовательно четыре слоя топливной массы, толщиной 0,1—0,3 мм, причем одновременно замерялась поверхность, с которой снимались слои, и их объем. При вычислении средней толщины соскребаемого слоя учитывался коэффициент увеличения объема древесного угля при его измельчении, найденный нами опытным путем.

Соскребаемая масса шла на анализ для определения зольности. Для сравнительной оценки полученных данных определялась зольность не только четырех периферийных слоев, но и соответствующих центральных частей кусков угля. Ход кривой нарастания процента золы от центральных частей куска к периферии характеризовал различные участки куска топлива в отношении глубины проникновения реакции.

Результаты проведенной работы и ход вычислений для кислородной зоны установки УНИИМЭ-23 видны из рассмотрения табл. 2.

Даже без приведения имеющегося графического материала ясно, что основная масса веществ реагирует в периферийных частях куска. Примерно с глубины проникновения в углеродную массу куска топлива, взятого из зоны горения около 0,03 см, устанавливается почти постоянный процент золы до центра куска.

Таблица 2

№ перифе- рийного слоя	Поверхность слоя, см <sup>2</sup> (F)	Объем слоя в насышке, см <sup>3</sup> (V <sub>н</sub> )	Коэффици- ент увеличе- ния объема, (β)	Объем слоя в исходном состоянии, см <sup>3</sup> (V <sub>пл</sub> = $\frac{V_n}{\beta}$ )	Толщина слоя, см ( $\delta' = \frac{V_{пл}}{F}$ )	Глубина проникнове- ния реакции, см (x)	Процент золы (ш)
1	128,3	3,00	1,8	1,66	0,013	0,007	19,8
2	127,7	1,53	1,8	1,20	0,009	0,018	4,3
3	126,7	2,00	1,8	1,11	0,009	0,027	3,3
4	124,6	2,00	1,8	1,11	0,009	0,036	2,1
5	—	2,00	1,8	1,11	—	0,750	1,8
1	133,7	3,70	1,8	2,03	0,015	0,008	18,2
2	134,7	2,00	1,8	1,11	0,008	0,019	3,9
3	119,9	2,15	1,8	1,20	0,010	0,028	3,6
4	113,5	2,00	1,8	1,11	0,010	0,038	2,1
5	—	2,10	1,8	1,16	—	0,750	1,6



Такая малая глубина проникновения, несомненно, свидетельствует о быстром расходовании кислорода на химическую реакцию в течение весьма малого пути его транспортирования по порам; градиент  $dc/dx$  оказывается очень большой величиной. Приведенный материал говорит об условиях, когда протекание процесса приближается к диффузионной области. Скорость процесса лимитируется переносом вещества, потребление которого на химическую реакцию совершается очень быстро.

Некоторые результаты исследования по восстановительной зоне приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ периферийного слоя	Глубина проникновения реакции, см ( $x$ )	Процент золы ( $w$ )
1	0,012	44,3
2	0,035	12,2
3	0,062	7,8
4	0,087	5,8
5	0,600	3,9
1	0,007	59,3
2	0,025	22,7
3	0,045	10,0
4	0,062	7,4
5	0,600	3,9

Имеющийся исследовательский материал по зоне восстановления во взятых условиях свидетельствует о том, что основная масса процессов восстановления протекает в тонком периферийном слое, толщиной около 0,6 мм, и лишь небольшая часть реагента проникает до глубины в 1 мм.

Малая глубина проникновения указывает на большую скорость потребления веществ на реакцию, по сравнению с их переносом, и большую величину градиента концентраций, а следовательно и на значительное приближение к диффузионной области.

Повидимому, в зоне восстановления транспортного газогенератора процесс также лимитируется переносом вещества, а не скоростью течения химической реакции.

Кроме выявленных, имеются и другие признаки, указывающие на значительное приближение протекания процесса в активной зоне, в форсированных условиях транспортного газогенератора, к диффузионной области.

Об этом говорит и вид срезов углей, которые мы брали из активной зоны; тонкая периферийная часть заметно отличается по своему оттенку от основной площади сечения куска.

Об этом же свидетельствуют и наши визуальные наблюдения вооруженным глазом и микрокиносъемка области пограничного слоя на горячей поверхности топлива. Наконец, это подтверждает и легкая приспособляемость транспортного газогенератора к различным нагрузкам.

Газификация в транспортных газогенераторах имеет свои особенности. Как известно, процесс газификации в этих малогабаритных аппаратах протекает очень интенсивно. Применение повышенных форсировок диктуется необходимостью обеспечения хорошей приспособляемости газогенераторов к переменному режиму работы мотора. Указанные особенности создают условия, в которых течение процесса газификации приближается к диффузионной области, что показано нами в предыдущем разделе. Параметры, от которых зависит высота активной зоны в разбираемом случае, видны из следующего выражения:

$$H = \frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V \cdot m \cdot \delta}{bD} + \frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V \cdot m \cdot \delta_2}{b'D_2}. \quad (10-52)$$

$c_0$  и  $c_k$  — начальная и конечная концентрация кислорода в потоке по кислородной зоне, мол/см<sup>3</sup>;

$c_{0_2}$  и  $c_{k_2}$  — начальная и конечная концентрация CO<sub>2</sub> в потоке по восстановленной зоне, мол/см<sup>3</sup>;

$V$  — скорость газового потока, см/сек (средняя действительная);

$\delta$  и  $\delta_2$  — толщина диффузионного слоя в кислородной и восстановительной зонах, см;

$b$  и  $b'$  — удельная свободная поверхность слоя топлива, см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>;

$D$  и  $D_2$  — коэффициент диффузии, см<sup>2</sup>/сек;

$m$  — коэффициент порозности слоя.

Если процесс протекает в определенном аппарате,



в присущих ему условиях работы (скорость потока, температуры в слое, род топлива и дутья), то из выражения (10—52) видно, что основным параметром, от которого зависит высота активной зоны, является величина  $b$ . В подобных условиях приближенно можно считать

$$\frac{(\ln c_0 - \ln c_k) V m \delta}{D} = A = \text{const},$$

$$\frac{(\ln c_{0_2} - \ln c_{k_2}) V m \delta_2}{D_2} = B = \text{const}$$

и

$$H = \frac{A}{b} + \frac{B}{b'}.$$

Принимая во внимание, что  $b$  и  $b'$  близки между собой, имеем:

$$Hb = A + B = N = \text{const}. \quad (13-3)$$

При прочих равных условиях произведение минимально необходимой и достаточной высоты слоя  $H$  на величину удельной свободной поверхности есть величина постоянная.

Принимая во внимание установленную нами зависимость

$$b = 1,2 \frac{\pi}{D}, \quad (11-15)$$

находим соотношение между средним диаметром частиц угля в слое и минимально необходимой высотой активной зоны  $H$ :

$$\frac{1,2 \pi \cdot H}{d} = N,$$

или

$$H = Md, \quad (13-4)$$

где  $M$  — коэффициент, равный  $M = \frac{N}{1,2 \pi}$ .

Выведенная закономерность указывает на то, что при прочих неизменных параметрах газогенераторного процесса, имеется прямая пропорциональность между средним диаметром куска в слое и высотой активной зоны  $H$ .

Конкретные величины активных зон для некоторых случаев газификации, в условиях транспортных газогенераторов, вычисленные по формуле (10—52), приведены в табл. 4 в мм.

Таблица 4

Средний диаметр частиц, мм	Средняя температура зоны горения и зоны восстановления		
	1600 и 1400°C	1400 и 1200°C	1200 и 1000°C
5	28	40	52
10	46	62	81
15	63	88	114
20	83	117	152
25	104	145	190
30	124	174	228
35	144	202	264
40	162	227	297
45	180	253	332
50	202	284	370
55	220	308	400

## VII

Для того, чтобы проверить результаты расчета высоты активной зоны по предложенному методу и установить зависимость высоты активной зоны от среднего диаметра частиц топлива в засыпке, нами были проведены соответствующие исследования. Была запроектирована, изготовлена и смонтирована экспериментальная установка, состоявшая из газогенератора, пылеотделителя, охладителя газа и поршневого компрессора.

Газогенератор имел цилиндрическую камеру газификации с установленной в ней колосниковой решеткой. Последняя состояла из свернутой в спираль медной трубки, по которой циркулировала вода. Опыты велись



с отключенным бункером, причем в этом случае топливо разжигалось сверху, а газы отсасывались снизу. По мере хода газификации слой топлива уменьшался, что давало возможность проследить за качеством газа при различных размерах активных зон и установить минимально необходимую величину активной зоны для завершения процесса.

В качестве топлива употреблялся древесный уголь, рассортированный на три фракции: 5—7, 7—10 и 10—17 мм.

Газ для анализа отбирался по трубке, охлаждаемой водой. Анализы брались при различных высотах активной зоны и позволяли установить минимально необходимую ее величину для каждого из трех размеров среднего диаметра частиц. О высоте активной зоны, минимально необходимой и достаточной для завершения процесса, можно было судить и по визуальным наблюдениям за факелом пламени, выходящим из газоотборной трубки. Начавшееся уменьшение длины пламени при снижении высоты зоны говорило о переходе границы минимально необходимой толщины слоя. Размеры зон по данным химического анализа и по визуальным наблюдениям почти совпали.

В табл. 5 приведены минимально необходимые размеры активных зон, соответствующих различным средним диаметрам кусков древесного угля.

Таблица 5

Средний диаметр частиц угля, мм	Высота активной зоны, см
6,0	2,5—3,0
8,5	4,0—4,5
13,5	7,0

Высота активной зоны в этих условиях (воздушное дутье, форсированный режим) оказалась равной, примерно, пятикратному диаметру частиц, что хорошо подтверждает общий вид установленной зависимости:

$$H = Md.$$

Величина  $M$  для транспортных газогенераторов колеблется от 5,5 до 8,0. Чем выше температура процесса при прочих равных условиях, тем меньше величина  $M$ . Для серийных газогенераторов автомашин ЗТС-21 и ГАЗ-42 она равна приблизительно семи.

Проведенные опыты показали, что при одинаковых скоростях дутья и минимально необходимых размерах активных зон газ получался тем лучше, чем мельче куски топлива. При прочих равных условиях уменьшение размеров частиц в слое ведет к увеличению температур слоя.

## VIII

Выше были выявлены параметры, определяющие важнейший конструктивный размер газогенератора — высоту активной зоны, а следовательно и соответствующий размер камеры газификации.

Другим важным конструктивным размером является сечение камеры газификации. Величина площади сечения оказывает большое влияние на ход процесса. Нами выяснено, что употребляемое иногда для обоснования размеров газогенератора соотношение между высотой активной зоны и ее диаметром является чисто геометрическим соотношением, не увязанным с физико-химией процесса. Практически для условий транспортных газогенераторов размер поперечного сечения активной зоны не зависит от ее высоты.

Размер поперечного сечения должен определяться на основе следующих соображений.

1. По условиям материального и теплового обмена в слое топлива требуется соблюдение турбулентного режима газового потока при любых отборах газа (необходимость гибкости работы). Это будет выполнено при  $Re > 50$  на минимальных отборах.

2. Температурные условия должны обеспечить интенсивное протекание процесса. При интенсификации процесса целесообразно применение больших скоростей газового потока (уменьшение сечения). Максимально допустимые скорости потока лимитируются не физико-химической стороной процесса, а условиями нормального



схода и сопротивления слоя. Напряженность процесса  $q$  кг/м<sup>2</sup> час или кал/м<sup>2</sup> час — удобная мера степени его интенсификации.

Найденные практически величины  $q$  хорошо отображают соблюдение условий ведения процесса в отношении его интенсификации; поэтому диаметр камеры может быть подсчитан по выражению

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,27 \cdot G}{q}}.$$

Вышеуказанными условиями — обмена, соблюдения должных температур, нормального схода и сопротивления слоя топлива — вполне определяется размер сечения камеры газификации для газогенератора, работающего на топливе, не выделяющем смол и кислот.

При употреблении содержащих смолу топлив необходимо соблюдение дополнительных требований, обеспечивающих получение газа с минимальным смолосодержанием. Кроме того, самая конструкция камеры газификации должна предохранять уголь от сильного измельчения при тряске и удалять пояс высоких температур, по возможности, от стенок.

Следующими важными конструктивными параметрами являются сечение фурм и их число.

Повышение скорости газового потока в слое топлива положительно сказывается на течении процессов газификации, но иногда вызывает ухудшение опускания топлива (при уменьшении сечения камеры). Повышение скорости дутья в фурмах не может отрицательно сказаться на опускании слоя; к этому приему часто прибегают. Несколько возросшее сопротивление компенсируется хорошим качеством газа даже при малых нагрузках, т. е. хорошей приспособленностью к изменению нагрузки.

Результаты проведенных нами наблюдений за действием большой скорости дутья, выходящего из фурм, находятся в соответствии с данными микрокиносъемки области пограничного слоя. Скорости свыше 20 м/сек в значительной мере освобождают поверхность древесного угля даже от зольной оболочки микроскопической толщины. Наблюдения показали, что процесс у фурм при

этом интенсифицируется в такой мере, что воздействие дутья на топливо можно назвать «огневой резкой». Наши фотографии зафиксировали момент, когда куски топлива как бы разрезаются дутьем из фурм.

Подобное действие большой скорости дутья из фурм создает в непосредственной близости от них прогары (в 20 — 50 мм, а иногда и более). Струя дутья из фурм часто идет как бы по каналам, проложенным среди кусков топлива. Этим облегчается проникновение дутья в толщу слоя и хорошее опускание топлива.

Суммарная площадь сечения фурм определяется принятыми скоростями дутья и его расходом. Абсолютные величины скоростей лежат в границах 20—50 м/сек на полной нагрузке. Число фурм может меняться от одной до 5—10 и даже до сплошной щели вокруг камеры газификации.

Подача дутья через ряд фурм создает равномерный охват сечения камеры дутьем и способствует хорошему опусканию топлива. Подача дутья одной фурмой (соплом) создает неравномерное движение газового потока по сечению камеры газификации.

Мы провели ряд опытов на водяной модели с прозрачным слоем. При  $Re \approx 500$ , что соответствует условиям транспортного газогенератора, окрашенный поток, выходящий из одной «фурмы», не распространялся на все сечение.

Наблюдения и увеличения с заснятого фильма показывают, что перемешивающего действия слоя недостаточно, чтобы из одной фурмы получить равномерный охват потоком всего сечения слоя.

Активная зона однофурменного газогенератора занимает близлежащую к фурме центральную часть слоя, а пристенные его участки являются застойными областями или областями со слабым движением потока.

Такое расположение активной зоны выгодно для газификации топлива, не содержащего смол, ибо хорошо теплоизолирует эту зону.

Для содержащих смолу топлив такое расположение активной зоны недопустимо, так как требуется равномерное движение дутья по всему сечению слоя. В последнем случае необходимо применение нескольких фурм.



В общем случае бункер транспортного газогенератора служит местом размещения необходимого запаса топлива, его прогрева, подсушки и частично сухой перегонки.

Нами было проведено исследование работы бункера в отношении топливоприготовления, которое имеет большое значение для газогенераторов обращенного процесса. Опытные работы велись на промышленных газогенераторных установках.

За показатели степени интенсивности работы бункера по топливоприготовлению принимались: а) изменение процента влажности топлива по толщине слоя в бункере и б) процентное содержание углерода.

Работа серийных газогенераторов протекала в обычных условиях эксплуатации на стандартном топливе — березовых чурках, а опытных газогенераторов — на полуметровых сырых дровах.

Исследование работы бункера серийного обращенного газогенератора показало, что процесс сушки протекает главным образом в нижней трети его и, по мере приближения к поясу фурм, все более интенсифицируется.

Вопреки сложившемуся мнению о том, что область сухой перегонки занимает значительный объем бункера, исследование выявило течение этого процесса лишь в тонком слое, толщиной около двух диаметров кусков топлива, в непосредственной близости от плоскости фурм. Повидимому, поступление тепла через слой топлива крайне затруднено отсутствием конвективного переноса в газогенераторах данного типа. Обогрев топлива через стенку бункера способствует течению процесса сухой перегонки в тонком пристенном слое топлива также в самых нижних частях бункера.

Проведенная работа впервые дала возможность определить границы различных зон в транспортных газогенераторах обращенного процесса. Кроме того, установлено, что в этих газогенераторах выделение летучих происходит за очень короткий промежуток времени, примерно 10 минут. Нами проведено аналогичное исследование работы бункера опытного газогенератора ЦНИИМЭ с особо интенсифицированным топливоприготовлением. В этом

газогенераторе имеют место обращенный и прямой процессы газификации. Продукты обращенного процесса шли к двигателю, а физическое тепло продуктов прямого процесса шло на интенсификацию процесса топливоприготовления в бункере, так как употреблялось сырое топливо из свежесрубленной древесины. Физическое тепло газов обращенного процесса на подогрев бункера не использовалось. В этих условиях работа бункера характеризовалась тем, что область отгонки летучих и течения прямого процесса газификации была сосредоточена в слое толщиной около 200 мм над плоскостью фурменного пояса. Расстояния в 300—400 мм было достаточно, чтобы просушить полено до незначительной влажности.

Принимая во внимание, что для серийных газогенераторов область активного топливоприготовления также находится в нижней части бункера, занимая не более трети его объема, можно сделать вывод, что размер бункера определяется условиями не топливоприготовления, а эксплуатации, т. е. необходимым запасом топлива, который должен вмещать бункер, и габаритами транспортной машины.

Полученные таким образом размеры бункера, конечно, должны быть проверены с точки зрения топливоприготовления.

Проведенные опытные работы привели нас к обоснованию конструкции газогенератора с интенсифицированным топливоприготовлением, где практикуемый и совершенно нежелательный отъем тепла из активной зоны на подсушку топлива в бункере заменен использованием тепла выхлопных газов двигателя и физическим теплом газов, отходящих из газогенератора.<sup>1</sup> Такая замена трудна, но зато многообещающа в отношении увеличения к. п. д. процесса.

<sup>1</sup> Авторское свидетельство № 85797 от 9/VI 1950 г.