

ТЕПЛОТЕХНИКА

А. М. НИКОЛАЕВ и член-корреспондент АН СССР З. Ф. ЧУХАНОВ

**ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ПРОЦЕСС ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
ПОЛУКОКСОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**

В работе одного из нас (1) было дано теоретическое обоснование возможности разделения процессов прогрева топливной массы и ее термического разложения. Но только экспериментальное осуществление такого разделения, представлявшее значительные и многообразные трудности, могло дать непосредственный ответ на вопрос о возможности технического осуществления этого весьма перспективного и принципиально нового метода полукоксования. В связи с этим, наряду с лабораторным исследованием скорости термического разложения топлива, была поставлена данная работа по непосредственному осуществлению процесса высокоскоростного полукоксования на укрупненной экспериментальной установке*. Схема этой установки (без контрольно-измерительной аппаратуры) представлена на рис. 1.

Топливо — подмосковный уголь различных фракций с размером частиц в пределах от 0,5 до 2,2 мм, загружается в бункер 1 в количестве до 500 кг. Из бункера уголь подается в вертикальную реторту 3 диаметром 200 мм и длиной 12 м. Подача угля в реторту осуществляется специальным питателем 2, работающим на принципе песочных часов и легко регулируемым с помощью конусного затвора. В реторте частицы угля разрозненно падают в виде равномерного дождя («падающий слой») навстречу восходящему потоку газового теплоносителя, в качестве которого для удобства эксперимента применялся перегретый водяной пар. Подача перегретого пара в реторту осуществлялась через кольцевую щель, соединяющую верхний отсек швелькамеры 4, в который перегретый пар подается из электрического пароперегревателя, с нижним входом в реторту. Падающие в реторте частицы угля нагреваются, а перегретый пар, поднимаясь вверх, охлаждается и после отделения в циклоне унесенной угольной пыли выбрасывается в атмосферу.

Выпадающие из реторты прогретые частицы угля быстро выводятся с помощью специального разделительного шнека 5 из зоны прогрева в нижний отсек камеры швелования (полукоксования) 6, в котором из прогретого топлива и выделяется основная масса ценных продуктов термического разложения угля. Температура пара и частиц угля, по высоте реторты, периодически измерялась специальными термомпарами. Температура угля на выходе из реторты измерялась с помощью термомпар, помещенных в особую расширяющуюся кверху воронку, в которой создавался непрерывно и быстро обновляемый конусок «протекающих» частиц угля.

* В опытах принимал участие Г. А. Муха.

Вначале на установке было проведено довольно широкое исследование гидродинамической характеристики реторты при работе ее с «падающим слоем» частиц угля. В результате этого исследования, имеющего самостоятельное значение, было установлено, что в реторте с гладкой стенкой при отсутствии восходящего газового потока основная масса частиц падает в центре реторты, а при наличии такого потока, наоборот, большая часть частиц скользит вдоль стенки.

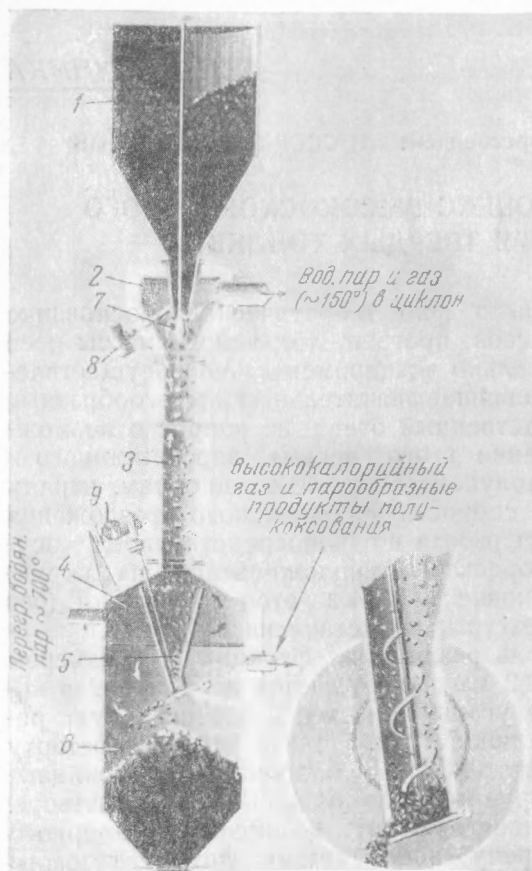


Рис. 1. Схема укрупненной экспериментальной установки (без контрольно-измерительной аппаратуры). 1 — бункер, 2 — питатель, 3 — реторта прогрева $d = 200$ мм, 4 — верхний отсек швелькамеры, 5 — разделительный шнек, 6 — нижний отсек швелькамеры, 7 — регулятор производительности, 8 — электромагнитный вибратор, 9 — электродвигатель с редуктором

размеров (от 0,5 до 3,3 мм), а навстречу ему подавался нагретый воздух или пар. Весьма быстро устанавливалось стабильное взаимное распределение температур газа, твердых частиц и стенки реторты. На рис. 3 приведено распределение температур по высоте реторты для одного из опытов с прогревом песка. Малый перепад температур между воздухом и песком (порядка 20°) указывает на высокую интенсивность теплообмена.

Результаты опытов по теплообмену, приведенные на рис. 4, позволили получить эмпирическое уравнение теплообмена в пределах изменения Re от 100 до 500. Это уравнение: $Nu = a Re^{0,82} = 0,2 Re^{0,82}$ соответствует турбулизированному пограничному слою ⁽³⁾ и, как видно из кривых рис. 4, хорошо описывает экспериментальные

наоборот, большая часть частиц скользит вдоль стенки. Были найдены зависимости концентрационного поля падающего слоя от основных режимных показателей — размера частиц, производительности и скорости газового потока.

Были разработаны специальные, располагающиеся на стенках реторты «язычковые» вставки, при помощи которых оказалось возможным осуществить распределение частиц по сечению реторты, симметричное профилю скорости восходящего газового потока. Таким образом, все сечение реторты оказывалось равномерно нагруженным. На рис. 2 показано полученное взаимное соответствие кривых скоростей газового потока и концентрации твердых частиц по сечению реторты. Там же приведена и кривая температурного поля газового потока.

Следующим этапом исследования явились опыты по изучению интенсивности теплообмена твердых частиц с газом в условиях «падающего слоя».

В предварительно прогретую реторту из бункера подавался речной песок с частицами определенных

данные Д. Н. Ляховского (2). Данные И. М. Федорова (3) дают близкий к нашим показатель степени при Re , но несколько меньшую величину коэффициента a .

Изучение процесса теплообмена показало, что в реторте можно будет нагревать уголь до конечной температуры на выходе, близкой к температуре подаваемого в реторту перегретого пара при общем времени пребывания частиц в реторте порядка 8 сек.

Такая интенсивность прогрева должна была позволить осуществить процесс двухступенчатого высокоскоростного полукоксования угля в технических условиях. Опыты с углем подтвердили этот вывод, и на данной установке в 1947—1948 гг. впервые удалось осуществить непосредственное разделение во времени и пространстве процесса прогрева топливных частиц и процесса выделения из них ценных продуктов термического разложения.

На рис. 3 представлены также кривые прогрева угля в одном из опытов с подмосковным углем. Продолжительность этого опыта составляла более 2 час.

при производительности по углю ~ 80 кг/час (в отдельных опытах производительность доводилась до 140 кг/час). В процессе падения в реторте уголь нагревался примерно до $450 \div 500^\circ$. За время нагрева (~ 8 сек.) уголь снизил содержание летучих с 32,5% только до 27,1%. При этом в реторте нагрева происходило частичное бертинирование угля, при котором на 1 кг угля выделялось примерно 15 л газа, не считая пирогенетической влаги. Выделяющийся в процессе нагрева газ содержал до 60% углекислоты и имел теп-

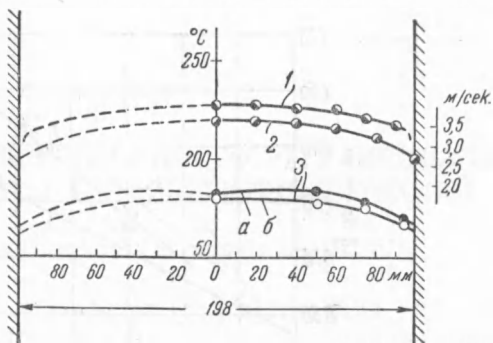


Рис. 2. Концентрационные поля «падающего слоя» и поле скоростей и температуры воздушного потока по сечению реторты при наличии язычковых вставок. 1 — поле скоростей воздушного потока, 2 — температура воздуха, 3 — относительное концентрационное поле «падающего слоя»; а — фракция $0,5 \div 0,9$ мм, б — фракция $0,9 \div 1,5$ мм

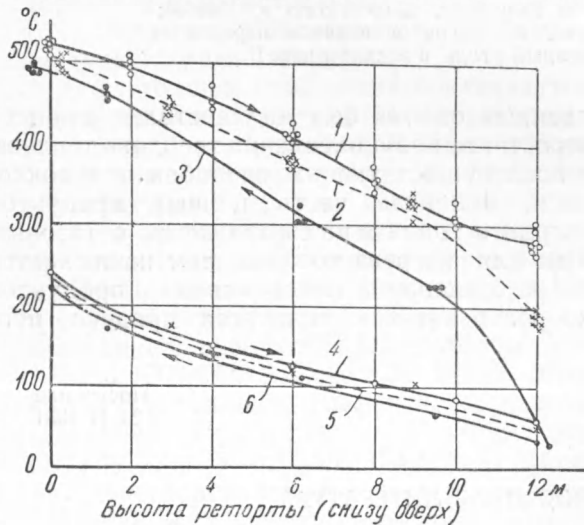


Рис. 3. Распределение температур перегретого водяного пара (1), стенки реторты (2) и частиц угля (3) по высоте реторты в опытах с углем. Распределение температур воздуха (4), стенки реторты (5) и частиц песка (6) по высоте реторты в опытах с прогревом песка

лотворную способность порядка 2000 кал/м³.

Таким образом, в реторте нагрева выделялся газ, близкий к так называемому газу бертинирования и включающий, главным образом,

CO_2 , CO и H_2O . При этом в потенциальное тепло ретортного газа переходит всего $1,0 \div 1,5\%$ тепла топлива, в то время как в газопарообразные продукты полукоксования переходит $25 \div 30\%$ всей теплотворной способности угля. Газ, получаемый в этих опытах из швелькамеры, имел теплотворную способность 3200 кал/м^3 .

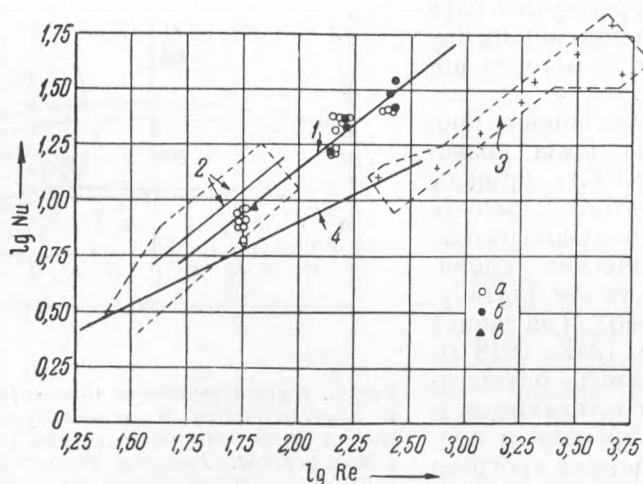


Рис. 4. Теплообмен в «падающем слое». 1 — «падающий слой», стационарный режим, $\text{Nu} = 0,2 \text{ Re}^{0,82}$ (наши данные); 2 — «падающий слой», стационарный режим, $\text{Nu} = 0,24 \text{ Re}^{0,83}$ (данные Ляховского); 3 — «падающий слой», нестационарный режим (данные Федорова); 4 — неподвижно закрепленные отдельные частицы, ламинарный пограничный слой, нестационарный режим, $\text{Nu} = 0,6 \text{ Re}^{0,83}$ (опыты Вырубова, Ляховского и Шваба); а — песок в воздухе, б — песок в водяном паре, в — подмосковный уголь в водяном паре

Таким образом, в проведенных опытах был осуществлен процесс двухступенчатого высокоскоростного полукоксования твердого топлива, при котором, в отличие от всех существующих способов полукоксования газовым теплоносителем, основная часть ценных продуктов термической переработки твердого топлива не смешивается с газовым теплоносителем, применяемым для нагрева топлива, чем исключается обычное для этих способов разбавление и обесценивание продуктов швелования и одновременно резко интенсифицируется процесс прогрева топлива.

Энергетический институт
им. Г. М. Кржижановского
Академии наук СССР

Поступило
24 II 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ З. Ф. Чуханов, ДАН, 72, № 4 (1950); Вестн. АН СССР, № 9 (1949); За экономию топлива, № 4 (1950). ² Д. Н. Ляховский, ЖТФ, № 12 (1940). ³ И. М. Федоров, Современные проблемы сушильной техники, 1941.