

Б.В. Канторович

**Основы теории горения и газификации
твёрдого топлива**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
Б11

Б11 **Б.В. Канторович**
Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович – М.: Книга по Требованию, 2024. – 600 с.
ISBN 978-5-458-68213-8

ISBN 978-5-458-68213-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Цель книги состоит в обобщении результатов большого количества экспериментальных и теоретических исследований в области теории горения и газификации твердого топлива, в том числе и результатов работ, выполненных автором и сотрудниками. В книге нашли отражение новые исследования, выполненные как в Советском Союзе, так и за границей.

Книга имеет характер монографии.

Анализируя различные работы и стремясь к объективному изложению их существа, автор в то же время исходил из определенных, развиваемых им теоретических взглядов. Эти взгляды, относящиеся к применению комплексного анализа процессов горения и газификации, получили свое развитие в теоретических и экспериментальных исследованиях автора и сотрудников руководимой им лаборатории горения топлив Института горючих ископаемых АН СССР.

Автор считает своим долгом выразить здесь большую благодарность коллективу лаборатории за совместную дружную работу в течение ряда лет.

Диффузионно-кинетическая теория горения углерода, наиболее полно развитая в известном труде А. С. Предводителя, Л. Н. Хитрина, О. А. Цухановой, Х. И. Колодцева и М. К. Гродзовского, вышедшем в 1949 г., по-прежнему является прочной базой для изучения процессов горения и газификации твердого топлива.

Дальнейшее развитие этой теории на основе комплексного анализа с учетом выгорания топлива, изменений его структуры, движения частиц топлива и газа, тепловых условий и др. необходимо для разработки научно обоснованной системы инженерных расчетов топок, газогенераторов и других подобных аппаратов, в которых мы имеем дело со сжиганием или газификацией топлива в виде слоя, потока взвешенных частиц и т. п.

Это позволяет охватить основные стороны взаимодействия явлений горения и газификации и выявить динамические характеристики процесса в различных формах и аппаратах.

При оценке теории и сопоставлении ее с опытными данными хотелось бы придать меньшее значение совпадению экспериментальных точек с «теоретическими» кривыми, которое часто может быть достигнуто за счет подходящих функций и коэффициентов. Главным является опытная проверка теоретических выводов и следствий.

По этому поводу следует вспомнить, что писал Д. И. Менделеев: «Утверждение закона возможно только при помощи вывода из него следствий, без него невозможных и не ожидаемых, и оправдания тех следствий в опытной проверке».

Поэтому-то, увидев периодический закон, я со своей стороны (1869—1871 гг.) вывел из него такие логические следствия, которые могли пока-

зять — верен он или нет. Без такого способа испытания не может утвердиться ни один закон природы» *.

В книге рассмотрены также результаты исследования кинетики и механизма основных реакций горения и газификации. В этих исследованиях еще многое остается невыясненным, а соответствующие гипотезы — спорными.

Теория горения и газификации может интересовать широкий круг читателей — научных работников, инженеров и студентов, — поэтому автор стремился сделать книгу доступной не только специалистам. Этому способствуют вводные главы — I, II, III, V и VI, — а также некоторые пояснения и в других главах. В основу этих глав и указанных пояснений положены лекции, читанные автором для аспирантов в Институте горючих ископаемых АН СССР.

Подготовленный читатель может по своему выбору эти разделы пропустить. В математическом аппарате опущены выкладки, лишние для понимания существа вопросов.

Главы с VII по XII основываются на предыдущих и вместе с тем составлены достаточно независимо. Это дает возможность читателю пропустить то, что его не интересует.

Автор старался сохранить одинаковые обозначения одних и тех же величин. Но при анализе других работ пришлось дать и обозначения авторов этих работ, чтобы не вызвать затруднения читателей при обращении к источникам. Не удалось преодолеть также трудности с общепринятыми одинаковыми обозначениями некоторых величин, например, коэффициентов теплообмена, «газообмена», избытка воздуха и т. п.

В отдельных случаях для сокращения используются упрощенные технические термины, как, например, дутье вместо расхода воздуха, углекислота вместо точного названия — двуокись углерода — и т. д.

Глава IV написана Б. М. Дерманом, XII — В. М. Ивановым, разделы 3 гл. III и 9 гл. XI — А. П. Финягиным, учениками и сотрудниками автора. В подготовке рукописи к печати оказали большую помощь Б. М. Дерман, В. М. Иванов и В. Н. Покровский, а в подготовке материалов — ряд сотрудников лаборатории горения топлив и других товарищей, за что автор приносит всем благодарность. Автор считает своим долгом также принести горячую благодарность и признательность ответственному редактору книги и своему учителю в области теории горения и теплофизики — члену-корр. АН СССР, профессору, доктору физ.-мат. наук А. С. Предводителеву, взявшему на себя труд просмотра и оценки правильного направления книги и ее редактирования.

За ценные замечания автор выражает признательность рецензенту и редактору глав I, II, III и IV профессору, доктору техн. наук Н. В. Лаврову, рецензентам — доктору техн. наук И. Л. Фарберову и доктору техн. наук Ю. А. Суринову, Ученому Совету и дирекции ИГИ АН СССР за внимательное отношение к оценке рукописи и ее подготовке к печати.

* Основы химии, т. II, стр. 389, год изд. 1934.

Глава I

ВВЕДЕНИЕ

Сжигание различных топлив и в особенности твердых — торфа, сланца, бурых, каменных углей, кокса, антрацита и др. — широко применяется в топках паровых котлов и промышленных печей для использования тепловой энергии в двигателях и в различных технологических процессах.

Твердое топливо широко применяется также для газификации, т. е. превращения топлива в горючий газ. Процессы горения и газификации имеют между собой много общего, поэтому теории горения и газификации топлива имеют общие основы. Изучение этих основ необходимо для правильной и эффективной организации процессов сжигания и газификации топлива во всех отраслях народного хозяйства — промышленности, энергетике, транспорте и сельском хозяйстве.

XX съезд Коммунистической партии Советского Союза утвердил директивы по шестому пятилетнему плану, который являлся программой дальнейшего развития всех отраслей народного хозяйства СССР.

Одними из первоочередных задач являются дальнейший подъем топливной промышленности и мобилизация огромных источников топлива и энергии, в том числе колоссальных запасов угля восточных районов Советского Союза.

В настоящее время структура топливного баланса СССР изменяется в сторону резкого увеличения добычи и производства нефти и газа. Добыча нефти и газа составляет 31%, угля — 59%. В 1965 г. соотношение будет таким: нефть и газ — 51%, уголь — 43%. Это даст огромную экономию в использовании топлива в нашей стране. Вместе с тем абсолютная добыча твердого топлива не только не уменьшится, а сильно возрастет и достигнет к 1965 г. 596—609 млн. тонн (Тезисы доклада товарища Н. С. Хрущева на XXI съезде КПСС «Контрольные цифры развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 годы», «Правда» от 14 ноября 1958 г.).

Важнейшей задачей теории горения и газификации топлива является указание путей для разработки новых, наиболее производительных методов и для интенсификации существующих способов сжигания и газификации.

Горение представляет собой сложный физико-химический процесс. В основе его лежит интенсивная химическая реакция окисления, сопровождающаяся значительным выделением тепла.

Первое фундаментальное представление об этом химическом процессе дал М. В. Ломоносов на основе открытого им закона сохранения массы. Опыты Ломоносова и последующие опыты Лавуазье утвердили кислородную теорию горения и опровергли прежние, метафизические понятия о природе тепла и горения в виде «теплорода», «флогистона» и т. п.

Роль физических факторов в процессе горения впервые была установлена французскими учеными Малляром и Ле Шателье и русским физиком В. А. Михельсоном — основоположником теории распространения пламени в газах.

Начало исследованиям механизма процесса окисления было положено А. Н. Бахом и Н. А. Шиловым. Ими была впервые установлена большая роль промежуточных продуктов химической реакции процесса окисления.

Выдающиеся русские ученые в дореволюционное время всегда обращались к эффективному использованию огромных природных топливных богатств, не нашедших своего применения в старой, капиталистической России. Такова, например, гениальная идея Д. И. Менделеева о подземной газификации углей, впервые высказанная им в 1888 г. Только В. И. Ленин в 1913 г. оценил ее в полной мере как коренное преобразование труда миллионов рабочих и только после Великой Октябрьской революции ленинские мысли о применении подземной газификации углей начали претворяться в жизнь.

Великая Октябрьская революция открыла возможность широкого использования неисчерпаемых энергетических ресурсов нашей страны.

Гениальный план электрификации СССР, вдохновленный В. И. Лениным, начал претворяться в жизнь в первые годы Советской власти. Была проведена огромная работа по использованию местных и в особенности низкосортных твердых топлив, вызвавшая необходимость коренного переустройства топок паровых котлов и промышленных печей, развития новых методов сжигания и газификации. Сюда относятся шахтные топки для сжигания влажных дров и торфа в крупных масштабах (системы К. В. Кирша), мощная шахтно-цепная топка для сжигания влажного кускового торфа, созданная Т. В. Макарьевым, и другие слоевые топки. В связи с развитием строительства мощных электростанций широкое применение в СССР получил метод сжигания твердых топлив в раздробленном или размолотом состоянии в виде так называемого пылевидного топлива.

Советские теплотехники решили ряд труднейших технических задач эффективного сжигания в пылевидном состоянии антрацитов, многозольных бурых углей, фрезерного торфа и других топлив.

В этой области много сделали Всесоюзный теплотехнический институт имени Ф. Э. Дзержинского (ВТИ), Центральный котлотурбинный институт имени И. И. Ползунова (ЦКТИ), Ленинградский металлический завод, Невский завод им. В. И. Ленина, Мосэнерго, Ленэнерго и ряд других научных и промышленных организаций.

Теория горения твердого топлива создавалась в советской науке в тесной связи с практикой разработки топочных устройств.

Начало научным исследованиям в области топочных устройств положили К. В. Кирш, Л. К. Рамзин, Г. Ф. Кнорре, В. Н. Шретер и другие советские теплотехники.

Первые исследования были направлены к тому, чтобы получить представление о работе топки в целом, не вдаваясь в детали процесса горения.

Советскими теплотехниками были разработаны методы расчета теплового баланса топок и котельных агрегатов, с использованием большого количества данных промышленных испытаний по избыткам воздуха, тепловым потерям и др. В области газификации топлив суммарные методы расчета были разработаны советскими учеными В. Е. Грум-Гржимайло, Н. Н. Доброхотовым и А. Б. Чернышевым.

В связи с развитием сжигания пылевидного топлива во Всесоюзном теплотехническом институте и Центральном котлотурбинном институте проводились широкие исследования топочного процесса сжигания уголь-

ной пыли. Эти исследования вначале были направлены (как и в слоевых топках) на опытное изучение топочных агрегатов в целом, а также отдельных конструктивных узлов — горелок, пылеприготовления и т. д.

Далее стала ощущаться острая необходимость не только в общих исследованиях топочного агрегата, но и в детальном исследовании самого процесса горения топлива и, в частности, механизма горения углерода.

Общие основы теории горения и, в частности, гомогенного горения (газов) были глубоко разработаны Н. Н. Семеновым и сотрудниками руководимого им Института химической физики АН СССР. Разработанная Семеновым теория цепных реакций является значительным вкладом в мировую науку, удостоенным Нобелевской премии.

В Институте химической физики был проведен ряд больших работ в области теории гомогенного горения. К ним относятся спектроскопические исследования кинетики газовых реакций В. Н. Кондратьева, теория распространения пламени в газах Я. Б. Зельдовича и др.

Ряд исследований в этом направлении был проведен также в Московском государственном университете под руководством А. С. Предводителя. За границей были также проведены крупные исследования Хиншельвудом, Льюисом и другими учеными.

Первые исследования в области процесса горения углерода были проведены в 1930 г. во Всесоюзном теплотехническом институте им. Ф. Э. Дзержинского под руководством А. С. Предводителя В. И. Блиновым, Л. Н. Хитриным, З. Ф. Чухановым, О. А. Цухановой и другими сотрудниками. Эти исследования дали ясное представление о том, что скорость, или время выгорания угольной частицы, зависит не только от химических, но и от физических факторов.

Несколько позднее такого же рода исследования горения углерода были проведены под руководством А. С. Предводителя в Энергетическом институте имени Г. М. Кржижановского АН СССР, а также в Институте химической физики АН СССР Я. Б. Зельдовичем, Д. А. Франк-Каменецким и другими и под руководством Г. Ф. Кнорре в Ленинградском технологическом институте и Центральном котлотурбинном институте.

В США такого характера исследования процесса горения углерода проводились Хоттелем, Майерсом и другими учеными.

Изучение процесса горения углерода имело большое значение не только для техники сжигания, но и для техники газификации топлива.

В технике газификации топлива ранее предполагалось, что процесс получения газа в слое угля идет в два приема. Сначала кислород соединяется с углеродом, причем происходит реакция окисления, в результате чего получается двуокись углерода (углекислота) как единственный первичный продукт. Далее протекает реакция восстановления углекислоты, в результате которой и получается горючий газ — окись углерода. Таким образом, за «кислородной» зоной следует «восстановительная» зона. По этой теории следовало, что увеличение скорости дутья, т. е. интенсификация процесса, должно приводить к уменьшению количества окиси углерода. С увеличением скорости или, в равной степени, с уменьшением высоты слоя топлива углекислота не успевала бы восстанавливаться.

За границей был проведен ряд экспериментальных исследований, выполненных по различной методике: американские исследования — Крейзингера и сотрудников, английские — Мотта и Уиллера и других путем изучения состава газа по высоте слоя угольных частиц, немецкие — Л. Мейера и других по исследованию окисления графитовой нити в вакуумной среде.

Исследования Крейзингера приводили к выводу, как будто подтверждающему существование двухзонного процесса и единственного первичного продукта «кислородной» зоны — углекислоты. Физико-химические исследования Л. Мейера и других, напротив, показали возможность появления окиси углерода так же, как первичного продукта реакции окисления углерода.

В 1934 г. советские ученые М. К. Гродзовский и З. Ф. Чуханов провели опыты, которые показали, что с увеличением скорости дутья в слое угля количество углекислоты в составе продуктов газификации углерода уменьшается, а количество окиси углерода увеличивается, и этим подтвердили результаты практики интенсификации газогенераторов.

Опыты М. К. Гродзовского и З. Ф. Чуханова впоследствии были подтверждены другими советскими исследователями — Н. А. Каржавиной и Х. И. Колодцевым. Они доказали, что продуктом газообразования в кислородной зоне является не единственно углекислота, но и окись углерода, и что увеличение скорости дутья приводит к возрастанию количества окиси углерода.

Для теории горения углерода, как уже сказано, необходимо было выявить правильную взаимосвязь между физическими и химическими факторами. Это было сделано А. С. Предводителевым и сотрудниками в ряде теоретических и экспериментальных исследований во Всесоюзном теплотехническом институте и в Энергетическом институте АН СССР.

Был проведен ряд теоретических и экспериментальных работ по изучению процесса горения угольного канала, отдельной угольной частицы, слоя и т. д., а также исследования кинетики отдельных реакций — окисления, восстановления углекислоты и др. Основным результатом этих работ явилось следующее. Процесс горения твердого топлива в основном может рассматриваться как так называемый гетерогенный процесс — на границе твердой и газовой сред, в котором в той или иной степени играют роль и определенным образом взаимодействуют химические и физические факторы, в первую очередь диффузия (диффузионно-кинетическая теория).

Другие работы в этом направлении проводились также в Энергетическом институте АН СССР З. Ф. Чухановым и сотрудниками, в Воронежском государственном университете В. И. Блиновым и сотрудниками, в Ленинградском технологическом институте под руководством Г. Ф. Кнорре.

Следует отметить, что сложный механизм реакций горения и газификации — окисления углерода, восстановления углекислоты, взаимодействия углерода с водяным паром и других — остался еще недостаточно выясненным и требует дальнейшего изучения.

Результаты работ А. С. Предводителя и сотрудников были подытожены в известной монографии А. С. Предводителя, Л. Н. Хитрина, О. А. Цухановой, М. К. Гродзовского и Х. И. Колодцева «Теория горения углерода».

Весьма прогрессивными в направлении дальнейшей разработки теории горения и газификации твердого топлива являются дальнейшие исследования ряда научных коллективов соответствующих лабораторий: Энергетического института АН СССР — под руководством З. Ф. Чуханова и Л. Н. Хитрина, Института горючих ископаемых АН СССР, кафедры котельных установок Московского высшего технического училища — Г. Ф. Кнорре, Всесоюзного теплотехнического института — Х. И. Колодцева, Центрального котлотурбинного института — В. В. Померанцева, М. А. Поляцкина и др. Лаборатории А. С. Предводителя и Л. Н. Хитрина внесли также значительный вклад и в развитие теории гомогенного горения (газов).

В области разработки научных основ технологии газификации топлив и подземной газификации угольных пластов большой вклад был сделан под руководством А. Б. Чернышева — Н. В. Лавровым, И. Л. Фарберовым, Р. Н. Питиным, В. С. Альшутером, Н. В. Шишаковым и коллективом Всесоюзного научно-исследовательского института Подземгаз.

Плодотворная работа по изучению процесса горения и газификации топлив проведена Восточным научно-исследовательским институтом топливоиспользования, Государственным институтом азотной промышленности, Всесоюзным научно-исследовательским институтом газификации и искусственного жидкого топлива, Институтом торфа, кафедрами: огневой теплотехники Московского энергетического института, котельных установок Московского высшего технического училища, печной теплотехники Московского института стали, металлургических печей Уральского политехнического института, лабораторией газификации Всесоюзного научно-исследовательского института ж.-д. транспорта, Институтом теплоэнергетики Украинской Академии наук, Энергетическим институтом Каз.АН и другими организациями. Большую роль сыграли второе Всесоюзное совещание по теории горения, проведенное в АН СССР в 1952 г., и третья научно-техническая конференция по газификации твердого топлива в 1955 г., которые подвели итоги и наметили дальнейшие перспективы развития научно-исследовательских работ в области горения и газификации твердого топлива.

Разработанная теория горения углерода в первых ее чертах, несмотря на ряд недостатков — схематичность, неучет ряда реальных факторов и др. — оказала большую помощь в вопросах управления процессами горения и газификации твердого топлива и в особенности в вопросах влияния на эти процессы основных физических и химических факторов.

Диффузионно-кинетическая теория горения углерода, разработанная А. С. Предводителевым и другими советскими учеными на основе советских и зарубежных работ, создала прочную научную базу при изучении процессов горения и газификации твердых топлив, прежде всего потому, что дала возможность отчетливо выделить основные физические и химические факторы, влияющие на процесс.

Но практика показала, что слишком отвлеченный подход к топке или газогенератору, только на основе диффузионно-кинетической теории гетерогенного горения, еще не достаточен.

Необходимо учитывать, кроме диффузии и химических реакций, ряд других важных реальных факторов: выгорание топлива, структуру потока твердых частиц, имеющую специфические особенности в слоевом, пылевидном и т. п. состоянии; движение частиц топлива и газа; тепловые условия процесса и др.

В связи с этим в Институте горючих ископаемых АН СССР (автором и сотрудниками) было предпринято дальнейшее развитие этой теории, которое заключалось в разработке комплексного анализа процесса горения потока топлива с учетом движения, выгорания и других превращений реакционной поверхности частиц топлива, выделения, переноса и отвода тепла в окружающую среду.

Учет движения и выгорания частиц, а также тепловых условий в их взаимной связи с процессом горения позволил выявить основные динамические характеристики процесса горения и газификации топлива как в слое, так и в потоке пылевидного топлива.

Это направление теории горения твердых топлив нашло отражение в работах других научных организаций (Восточном научно-исследовательском институте топливоиспользования, Центральном котлотурбинном институте, Энергетическом институте Каз. АН и др.). Мы считаем

его развитие важным, поскольку оно способствует разработке научно обоснованной системы инженерного расчета.

Большое значение имеют также дальнейшие работы по изучению кинетики и механизма основных реакций процесса горения и газификации, которые проводятся в Институте горючих ископаемых, Энергетическом институте АН СССР, Физико-химическом институте им. Карпова и других организациях.

Исследования в этой области за последние годы проводятся весьма активно и за рубежом, что нашло достаточное отражение в данной книге.

От теории горения твердого топлива пока еще трудно требовать полного расчета всего аппарата в целом, но она в состоянии указать направление влияния ряда реальных факторов.

Теория горения и газификации твердого топлива должна развиваться таким образом, чтобы помочь в деле создания высокопроизводительных аппаратов новой техники — печей, паровых котлов, газогенераторов, газовых турбин и других двигателей. Одновременно должно продолжаться изыскание путей интенсификации существующих агрегатов.

Глава II

СХЕМЫ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

1. Горение — основа сжигания и газификации твердого топлива

В основе сжигания и газификации лежит общий физико-химический процесс — горение, т. е. интенсивное экзотермическое окисление твердого топлива, сопровождающийся выделением тепла.

Окисление в общем смысле слова охватывает все процессы соединения топлива со свободным или связанным в химических соединениях кислородом, включая прямое окисление, реакции с углекислотой и водяным паром и др. Так называемые восстановительные процессы (например, $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$) являются в то же время окислительными по отношению к углероду. Горение твердых топлив лежит в основе технологии получения тепла, электроэнергии, металла, газов (горючих и для химического синтеза) и ряда других производственных процессов.

С ж и г а н и е есть интенсивный процесс полного соединения топлива с кислородом, сопровождающийся максимальным выделением тепла и получением полных (негорючих) продуктов окисления — дымовых газов (CO_2 , H_2O и др.) — и твердого негорючего остатка — золы и шлака. Горение отличается от так называемого медленного окисления значительно большей интенсивностью реагирования и выделения тепла.

Г а з и ф и к а ц и я есть термохимический процесс переработки твердого топлива путем присоединения к нему кислорода для превращения топлива в горючий газ (смесь CO , H_2 и др.), предназначенный для последующего сжигания (энергетический и бытовой газ) или для технологических целей (технологический газ.)

В основе газификации лежит либо неполное горение топлива (при недостатке кислорода), либо полное горение с последующим реагированием углерода с углекислотой и водяным паром с целью получения горючих газов (CO , H_2 и др.). Последние реакции носят эндотермический характер. При некотором избыточном количестве кислорода процесс газификации переходит в процесс сжигания, характеризующийся максимальным выделением тепла.

Газификация имеет большие преимущества по сравнению с использованием топлива непосредственно в твердом виде. Горючие газы легко транспортируются по трубам на большие расстояния. При сжигании газа не образуется твердого остатка (золы); легко достигаются автоматизация и регулирование процесса, полнота сгорания и высокий температурный уровень горения. Для превращения твердого топлива в газообразное применяются специальные аппараты — газогенераторы. В ряде случаев газ является побочным продуктом другого технологического процесса. Например, доменная печь является не только плавильной печью, но и генератором доменного газа.

2. Простейшие схемы сжигания и газификации твердого топлива

На рис. 1а показана простейшая схема газогенератора.

Куски топлива поступают сверху в загрузочное устройство. Снизу через зазоры в чугунной колосниковой решетке подаются воздух и водяной пар. В нижней части слоя, расположенной над зоной шлака и золы, происходит неполное горение топлива, при недостатке кислорода. Так как в этой зоне (1) расходуется в основном весь кислород, то она называется к и с л о р о д н о й. Зона шлака и золы, примыкающая к колосниковой решетке, играет роль засыпки, выравнивающей распределение дутья (воздуха и водяного пара). Исследования показывают малую роль

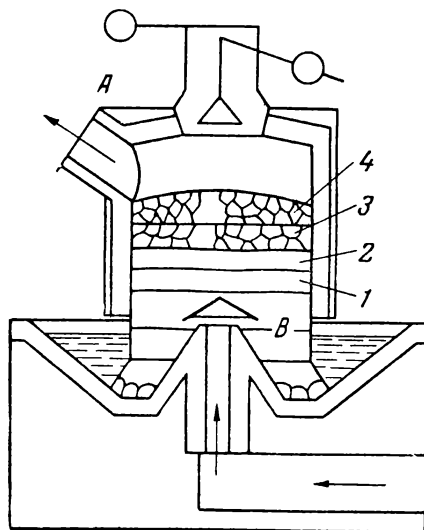


Рис. 1а. Схема газогенератора:
А — выход газа; В — колосниковое устройство.

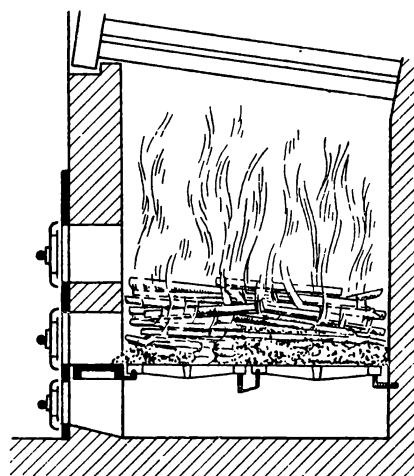


Рис. 1б. Слоевая топка с колосниковой решеткой.

самых колосников в этом выравнивании. Кроме того, зольная или шлаковая подушка защищает колосники от пережога. Продукты неполного горения углерода, содержащие в большом количестве CO_2 и в меньшем CO , поступают в зону восстановления (2). Здесь углекислота, а также водяной пар вступают в химические реакции с углеродом топлива (точнее, кокса), раскаленного за счет тепла, выделившегося в кислородной зоне.

Следует заметить, что эти реакции уже начинаются и в кислородной зоне. В результате реакций CO_2 и H_2O с углеродом топлива получаются горючие газы — CO , H_2 , к которым подмешивается негорючий балласт — азот (из воздуха) и неразложившаяся часть CO_2 и водяного пара.

Образующаяся смесь газов идет вверх через слой топлива и нагревает его своим («физическим») теплом. Нагретое без доступа кислорода при температуре $500\text{--}600^\circ\text{C}$ топливо претерпевает сложное видоизменение своей внутренней структуры, называемое с у х о й п е р е г о н к о й, полукоксованием или швелеванием (зона 3). За счет оставшегося тепла в верхней части слоя топливо подсушивается и к газам присоединяются водяные пары в зоне сушки (4).

В результате сухой перегонки из топлива выделяются газообразные (так называемые летучие) продукты, содержащие CO , CO_2 , H_2 , CH_4 (метан), непредельные и другие углеводороды, а также пары жидких продуктов — смолы и внутренней (так называемой пирогенетической) влаги.