

Б. Я. РОЗЕН

Соперники нефти и бензина

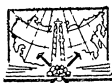


НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА

Б. Я. РОЗЕН

Соперники нефти и бензина



МОСКВА „НЕДРА” 1985

УДК 622.74
ББК 6П7.42:6П7.43

Р 64

Б. Я. Розен

Рецензент: канд. техн. наук В. А. Рубан (Институт горючих ископаемых)

Розен Б. Я.

Р 64 Соперники нефти и бензина. — М.: Недра, 1985, 112 с., ил. (Библиотека школьника).

20 к.

Рассказывается о зарождении и претворении в жизнь идеи получения синтетического топлива, о современных технологических способах его производства, в поисках новых путей превращения угля и сланца в ценные жидкие продукты, о современном состоянии промышленности синтетического топлива. Рассматриваются перспективы развития производства этого вида топлива в СССР и за рубежом. Освещены важнейшие направления осуществления Энергетической программы СССР на длительную перспективу.

Для школьников и рабочей молодежи.

Р 2505000000—483
043(01)—85 254—85

ББК 6П7.42:6П7.43

Р64

БОРИС ЯКОВЛЕВИЧ РОЗЕН

СОПЕРНИКИ НЕФТИ И БЕНЗИНА

Редактор издательства Т. Д. Новикова
Технический редактор Л. Н. Шиманова
Корректор В. П. Крымова

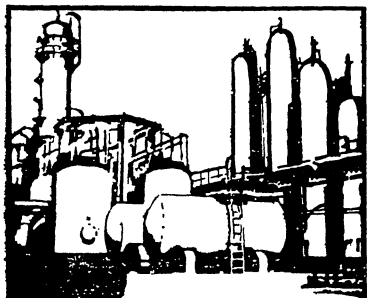
ИБ № 5773

Сдано в набор 07.05.85. Подписано в печать 23.08.85. Т-18519. Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 3. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 5,88. Усл. кр.-отт. 6,20. Уч.-изд. л. 6,15. Тираж 44 000 экз. Заказ 199/72—11. Цена 20 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

© Издательство «Недра», 1985



**ПЕРВЫЕ
ШАГИ**

**ПРОДОЛЖАЯ
ЭСТАФЕТУ**

6 марта 1869 г. в большой химической аудитории Петербургского университета на заседании Русского физико-химического общества профессор Н. А. Меншуткин впервые познакомил собравшихся с замечательным открытием Д. И. Менделеева — периодическим законом химических элементов.

Фридрих Энгельс назвал это открытие научным подвигом выдающегося русского химика. Эта оценка вполне справедлива и заслуженна.

Периодический закон, открытый Д. И. Менделеевым, дал ученым возможность с большой точностью определять не только физические и химические свойства различных веществ, но и предвидеть заранее, с какими веществами могут вступать в соединение химические элементы.

С помощью периодического закона можно без весов определить точную атомную массу того или иного элемента, открыть неизвестные ранее химические элементы. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева стала ключом к раскрытию тайн атомного мира. Из 37 элементов, открытых после создания таблицы, 21 был предсказан ее создателем.

В последующие годы периодический закон способствовал новым блестящим достижениям в области физики и химии.

Все новые открытия в ядерной физике, раскрытие тайн строения веществ, освоение атомной энергии во многом обязаны периодическому закону.

Доклад Д. И. Менделеева о периодическом законе

был не единственным сообщением в Русском физико-химическом обществе, которым могла гордиться наука.

В этой старинной аудитории с длинными деревянными скамьями, спускающимися амфитеатром, и огромной черной доской, на которой писали формулы и уравнения, не в первый раз корифеи русской науки сообщали о своих достижениях.

Среди них были Н. Н. Зинин, снискавший себе мировую славу открытием некоторых важных реакций (превращение нитросоединений в аминсоединения, нитробензола в анилин и другие химические продукты), которые стали основой для широкого промышленного получения разнообразных синтетических красителей; А. М. Бутлеров — создатель теории химического строения (иначе называемой структурной) органических веществ. Эта теория объясняла многообразие органических соединений строением, структурой молекул. Свойства всех молекул зависят только от числа, вида и порядка расположения атомов и молекул.

Так, русские ученые — Д. И. Менделеев, А. М. Бутлеров, Н. Н. Зинин, В. В. Марковников, А. М. Зайцев, Н. Н. Бекетов, Д. П. Коновалов и др., — продолжая эстафету, начатую еще в XVIII веке первым русским химиком М. В. Ломоносовым, внесли весомый вклад в развитие отечественной и мировой науки.

К этой славной когорте принадлежал профессор Михайловской артиллерийской академии В. Н. Ипатьев (впоследствии академик). В 1904 г. В. Н. Ипатьев выступал на заседании Русского физико-химического общества с докладом о результатах своих длительных исследований над поведением разных углеводов (спиртов, кетонов, альдегидов) при высоких температурах и давлениях (40—60 МПа) в присутствии разных катализаторов — железа, цинка, кремнезема и др.

Вначале он изучал течение химических реакций при разложении органических веществ при температуре 300—400 °С и атмосферном давлении в присутствии катализаторов.

При нагревании тех или иных органических веществ (например, спиртов) возникали экспериментальные затруднения. Прежде всего, было очень трудно регулировать скорость прохождения паров веществ через трубку, нагретую до той или иной температуры, что не позволило точно определить скорость разложения органических соединений под влиянием катализаторов.

Между тем такое определение имело не только важное теоретическое, но и практическое значение. Все технологические процессы на химических заводах для успешного их осуществления требуют точных данных о скорости протекания соответствующих реакций.

Кроме того, было хорошо известно, что давление для многих химических процессов играет громадную роль. С помощью высокого давления могут осуществляться такие процессы, которые не идут при нормальных условиях.

Вот потому В. Н. Ипатьев и решил изучить каталитические реакции разложения органических веществ при высоких давлениях. К тому же он полагал, что удастся получить такие данные, которые позволили бы сравнивать действие различных катализаторов.

Поскольку из ранее проведенных опытов было известно, что высокое давление уменьшает скорость процесса разложения, можно было предполагать, что некоторые реакции при определенном давлении дойдут до известного предела. Это предположение в значительной мере оправдалось.

В органической химии к началу XX века были известны несколько реакций. Некоторые из них применялись в химическом производстве, которые проводились под давлением выше атмосферного. Но обычно давление, под которым такие реакции проводились, не превышало нескольких атмосфер. Течение таких реакций в то время не было всесторонне изучено. В то же время каталитические реакции как органических, так и неорганических соединений были хорошо изучены только при обычном давлении.

Почему ученые в те времена не пытались изучать каталитические реакции под высоким давлением? Казалось бы, это открывало возможность раскрыть тайны поведения многих веществ при разложении и сделать новые блистательные открытия. Причина заключалась в трудности проведения подобных опытов. Главное — отсутствие приборов, в которых можно было нагревать органические вещества до 600 °C при давлении в несколько сот атмосфер.

После многолетних исследований В. Н. Ипатьеву удалось сконструировать такой прибор, из которого после прекращения опыта могли бы медленно выходить все газообразные продукты разложения органических веществ. И что особенно важно, в приборе использовалось

приспособление, с помощью которого в течение всего опыта измерялось создаваемое давление.

Сравнивая повышение давления в аппарате с использованием катализатора и без него, можно точно установить, какое ускоряющее действие оказывает на разложение данный катализатор, и одновременно определить среднюю скорость разложения органических соединений.

Чтобы иметь наглядное представление о ходе разложения органических веществ, были построены кривые, которые выражали зависимость между давлением, которое развивалось в опытах, и временем разложения веществ. На графике по оси ординат откладывали значения давления (по показаниям манометра), а на оси абсцисс — время.

Эти графики помогли выявить весьма важную закономерность, которая сыграла роль в дальнейшем изучении реакций по получению искусственного жидкого топлива. Оказалось, что ход разложения органических соединений определяет не среднее возрастание давления во времени, а максимальная скорость повышения давления. Она прямо пропорциональна максимальной скорости разложения органических соединений.

Работы В. Н. Ипатьева в значительной мере помогли спустя семь — восемь лет немецкому инженеру Фридриху Бергиусу разработать способ получения искусственного бензина из бурого угля.

И вот, как это было.

КАК СДЕЛАТЬ УГОЛЬ ЖИДКИМ?

Осенью 1910 г. в Высшей технической школе в Ганновере (Германия) появился новый преподаватель Фридрих Бергиус. Он быстро завоевал себе авторитет не только у студентов, но и у своих коллег. Уже с первого семестра он начал читать лекции по трем дисциплинам: теории газовых реакций, теории равновесия и металлургическим процессам.

Широкая эрудиция, глубокое знание предмета и умение ясно и четко изложить материал привлекали к молодому преподавателю (ему было 26 лет) студентов.

Фридрих еще со школьной скамьи увлекался химией. Его отец — владелец небольшого химического завода в Гольдшмидене (маленьком городке недалеко от Брес-

лау) — всячески поощрял увлечение сына и помогал ему изучать химическую технологию и промышленные химические процессы. По окончании школы для лучшего ознакомления с технической химией он отправил его на несколько месяцев на крупные металлургические заводы Рурского района.

После окончания университета, где Бергиус изучал химию под руководством выдающихся ученых того времени Ладенбурга, Аббе и Герца, он решил посвятить себя технической химии.

Бергиус читает курс лекций студентам и одновременно занимается исследовательской работой. На средства отца он создает великолепно оборудованную химическую лабораторию, где проводит опыты с различными веществами.

Особенно он интересовался получением искусственного жидкого топлива.

Первое десятилетие нашего века ознаменовалось быстрым ростом потребления нефти и различных нефтепродуктов — бензина, керосина, смазочных масел.

Быстрое развитие промышленности, увеличение числа торговых и военных судов, расширение производства автомобилей требовали все больше разнообразного жидкого топлива.

В научных и технических журналах, даже в газетах, все чаще стали появляться статьи, в которых высказывались опасения, что при столь огромном, все нарастающем потреблении нефти ее запасы на нашей планете скоро иссякнут. Одни предсказывали полное истощение нефтяных месторождений через 25 лет, другие — через 50 лет. Но все авторы подобных статей — ученые, инженеры, журналисты — были единодушны в том, что необходимо срочно разработать химические методы, которые позволили бы получать жидкое горючее и смазочные масла из углей, сланца, газов.

В Германии не было крупных месторождений нефти, достаточных для удовлетворения потребностей в ней страны. Нефть и нефтепродукты приходилось ввозить из-за границы.

Инженер-технолог по образованию, исследователь по призванию, научная деятельность которого была тесно связана с производством, Фридрих Бергиус прекрасно понимал важность создания эффективного технического способа получения искусственного жидкого топлива и со свойственной ему энергией начал проводить эксперимен-

ты. Для опытов он выбрал бурый уголь, запасы которого в Германии громадны.

Ему было хорошо известно, что при промышленном полукоксовании угля, т. е. при сухой перегонке (нагревание угля при температуре 500—550 °С без доступа воздуха), получают каменноугольную смолу, которая перерабатывается в различные виды жидкого топлива — бензин, дизельное топливо, керосин.

Он же поставил задачу получить жидкое топливо непосредственным ожижением угля.

Никто и не думал тогда (да и сам Бергиус не предполагал), что безвестный инженер-технолог станет прославленным химиком, снискавшим мировую известность, и что спустя двадцать лет он будет удостоен Нобелевской премии, награжден медалью Либиха, избран почетным доктором Ганноверского и Лейпцигского университетов.

Занимаясь проблемой ожижения угля, Бергиус отнюдь не думал о возможных наградах. Разумеется, им руководило только стремление превратить уголь в могучего соперника нефти как сырья для производства моторного горючего, в первую очередь бензина.

ОТ НЕФТИ К УГЛЮ

Нефть — бурая или черная маслянистая жидкость — была известна человеку еще в глубокой древности. Нефть упоминается в санскритских надписях, высеченных на каменных плитах, и вавилонских рукописях.

Более двух тысяч лет назад в некоторых местах на побережье Каспийского моря пользовались нефтью как горючей жидкостью, пригодной для отопления. Тогда уже было замечено, что огонь нефти жарче угольного пламени, а позднее установлено, что нефть выделяет при сжигании на треть больше тепла, чем самый лучший сорт угля — антрацит.

В средние века из нефти путем ее перегонки научились выделять осветительные масла. В XVIII веке на Севере, на реке Ухте, купцом Прядуновым был построен небольшой завод, на котором получали из нефти довольно большие объемы керосина.

Однако почти до середины XIX века не было точных представлений о химическом составе нефти. Многочисленные исследования различных нефтей, проведенные

химиками разных стран, показали, что нефть — это сложная смесь органических соединений, состоящих преимущественно из атомов углерода и водорода (углеводородов). Общее число компонентов, входящих в состав нефти, определяет их многообразие. Каждое нефтяное месторождение, любой нефтеносный пласт характеризуются индивидуальными химическим составом, и в какой-то мере свойствами.

В нефти одних сортов больше всего углеводородов парафинового ряда, в которых атомы углерода образуют прямые или разветвленные цепочки (такие углеводороды называются изомерами, например изобутан). Первые четыре представителя парафинового ряда (метан, этан, пропан, бутан) — газы, они растворены в нефти. По мере увеличения в цепочке числа атомов углерода и водорода углеводороды становятся все более тяжелыми. Так, пентан, имеющий пять атомов углерода в цепочке, уже жидкость (входит в состав бензина).

Чем тяжелее молекула углеводорода и чем длиннее цепочка, тем при более высокой температуре начинается его кипение. Углеводороды с числом атомов углерода 16 и более — это уже твердые вещества (например, гексадекан).

В нефти других сортов преобладают наftenовые углеводороды циклопентан, циклогексан — соединения с замкнутой (кольцевой или циклической) цепью атомов. В нефти нередко содержатся и углеводороды ароматического ряда — соединения с замкнутой (в виде «колец») цепью атомов углерода — бензол, нафталин и т. д.

Каменный уголь стал широко использоваться раньше нефти, и потому его химический состав был изучен несколько лучше.

Уголь — не однородное вещество, а смесь различных органических соединений и некоторых неорганических веществ.

Сравнительное изучение химического состава нефтей и каменных углей показало, что они «близкие родственники». На первый же взгляд может показаться, что нет ничего общего между бурой маслянистой жидкостью, не растворимой в воде, и куском черного похожего на камень угля.

Однако как в угле, так и в нефти содержатся пять основных элементов: углерод, водород, кислород, сера, азот — больше всего углерода и водорода. Содержание этих элементов в обоих веществах различно. Например, в каменном угле на одну часть водорода приходится от 15 до 20 частей углерода, в сырой нефти это соотношение почти в три раза меньше — только 6,5 частей углерода, а в бензине еще меньше — 5,7 частей углерода на одну часть водорода.

Следовательно, рассуждал Ф. Бергиус, для того что-

бы уголь сделать жидким, нужно прежде всего изменить соотношение между углеродом и водородом, т. е. насытить уголь водородом.

Как же это сделать? По-видимому, следовало воспользоваться верными помощниками химиков — высокими температурой и давлением.

К тому времени учеными было накоплено уже достаточно много опытных данных по изучению гидрогенизации — процесса насыщения водородом различных органических соединений, особенно растительных масел, жиров (например, получение маргарина), под влиянием катализаторов.

Бергиусу хорошо были известны работы немецкого химика Габера, который еще в начале нашего века совместно с инженером Ф. Бошем разработал промышленный способ получения аммиака взаимодействием азота с водородом при высоких температуре (500—550 °C) и давлении (20—22 МПа).

Однако никто из ученых и инженеров тогда не считал возможным получить жидкое искусственное топливо непосредственной гидрогенизацией угля, тем более под большим давлением.

Ученые, которые занимались изучением различных проблем, связанных с использованием и переработкой твердого топлива, в частности угля, не признавали других путей кроме коксования и полукоксования. Даже такой авторитетный ученый, как Эмиль Фишер¹, в одном из своих докладов, посвященных вопросам изучения угля, отмечал, что в качестве путей, способствующих повышению внутренней ценности угля, могли бы быть опыты коксования в атмосфере водорода. При этом удалось бы повысить выходы не только аммиака, но и летучих углеродных соединений, особенно углеводородов. Далее следовало изучить влияние давления на коксование. Он говорил: «Как прекрасно было бы, если бы удалось путем подходящих восстановительных процессов добывать экономичным путем жидкое топливо из твердых горючих материалов. Мне кажется, что в этом заключается основная проблема угольной промышленности, для разрешения которой пущены все средства современной техники и науки и испробованы все возможности».

¹ Эмиль Фишер (1852—1919) — известный немецкий химик-органик и биохимик. Провел обширные исследования сахаров, протеинов, аминокислот и дубильных веществ.

Эмиль Фишер отмечал важное значение более широкого использования бурого угля. «И здесь, — говорил он, — коксование в токе водорода, по возможности в присутствии катализаторов, еще вероятнее, чем в случае каменного угля, привело бы к увеличению выхода жидких углеводородов».

Однако, призывая использовать все новейшие средства, доступные тогда технике, для получения жидкого топлива из угля, он рекомендовал применять их лишь для совершенствования процесса коксования, а не для прямого ожижения угля.

Широкие исследования, которые начал проводить Ф. Бергиус для решения этой проблемы, не вызывали ни сочувствия, ни поддержки у большинства ученых-химиков. Одни считали их напрасной тратой времени, другие, еще более скептически настроенные, — просто «безумной затеей».

Его идея была для современников слишком смелой и казалась безрассудной.

У Ф. Бергиуса не было предшественников, если не считать французского химика М. Бертело, который провел ряд опытов по ожижению угля с помощью йодистоводородной кислоты в 1869 г. в Париже. Он нагревал в течение суток каменный уголь, содержащий 4—5 % смолы, при 270 °С с этой кислотой, в количестве в 100 раз превышающем массу угля. Была получена нефтеподобная жидкость — примерно 60 % массы исходного угля. Это в 12—15 раз больше массы продукта, который мог бы выделяться из каменноугольной смолы в процессе коксования.

Опыты показали реальную возможность непосредственного превращения угля в жидкое топливо, минуя сложные пути обычного органического синтеза или процесса коксования. Однако в 70-х годах прошлого века опыты М. Бертело не привлекали к себе внимания, поскольку задача получения искусственной нефти и бензина из угля не была актуальной. Потому они были скоро надолго забыты.

Об опытах М. Бертело вспомнили лишь почти полвека спустя, перед первой мировой войной, когда резко возрос интерес к получению из угля жидкого топлива и когда эта проблема приобрела важное практическое значение. Тогда два немецких химика Даферт и Миклауш, изучая воздействие йодистоводородной кислоты на

некоторые углеобразные вещества, получили из них некоторое количество углеводов.

Позднее, в начале 20-х годов, когда уже по способу Бергиуса из бурого угля получали миллионы тонн бензина на заводах, опыты Бертело повторили в Германии известные химики Ф. Фишер и Г. Тропш. Они также получили жидкое топливо из угля. Вслед за ними забытыми опытами французского ученого заинтересовались немецкие химики Вильштеттер, Кальб, Штрау. Проведенные этими учеными различные эксперименты с йодистоводородной кислотой и углем имели лишь теоретическое значение.

Однако эти опыты, как и результаты экспериментов французского ученого, не могли послужить основой для разработки технических способов получения искусственного жидкого топлива из угля. И Бергиус, разумеется, ни в какой степени не мог использовать их для технического оформления своей идеи — непосредственного ожижения угля.

Необходимо отметить, что под словом «ожижение» угля не следует понимать простое растворение каменного или бурого угля (как, например, растворение соли или сахара в воде) и превращение его в жидкость.

Вещество угля под действием давления, высокой температуры и водорода претерпевает ряд чрезвычайно сложных изменений. Молекула угольного вещества в основном состоит из 100—200 атомов, при гидрогенизации она раскалывается на мелкие, более простые по химическому строению осколки, к которым присоединяется водород. Смесь образовавшихся углеводов и представляет собой жидкое топливо различных видов.

Прежде чем приступить к разработке технического способа гидрогенизации угля, Ф. Бергиус решил изучить его химическое строение и превращения. В то время химическая природа каменных, точно так же как и бурых, углей была изучена очень слабо. На основании тех или иных реакций углей с различными химическими соединениями, которые время от времени проводились некоторыми химиками, предлагались те или иные формулы строения углей. Однако они так и не получили тогда общего признания.

Бергиус считал, что для выяснения столь сложного вопроса следует попытаться воспроизвести в лабораторных условиях процессы образования и накопления угля в природе. Для решения этой нелегкой задачи исследователь воспользовался новейшими методами и данными физической химии, которыми тогда располагала наука.

В те времена уже было хорошо известно, что угли

образовались сотни миллионов лет назад, в отдаленные геологические эпохи, из различных высших и низших растений.

Поэтому особое внимание уделялось исследованию обуглероживания, иными словами, разложения органического вещества, которое протекает в природе самопроизвольно в течение миллионов лет. Опытное воспроизводство процесса проводилось при повышенных температурах.

Результаты этих необычных экспериментов (ведь до Ф. Бергиуса никто не проводил подобных опытов) оказались впечатляющими.

Было установлено, что обуглероживание древесины, которая состоит главным образом из целлюлозы и лигнина, в определенных условиях доходит до некоторого предела — углистый продукт, образовавшийся при термическом разложении дерева, не претерпевает более никаких изменений при дальнейшем нагревании.

Наряду с твердым углистым остатком (по выражению Ф. Бергиуса, «конечным углем») выделялись вода и углекислый газ. И что было наиболее удивительным — твердый остаток по содержанию углерода, водорода и кислорода напоминал нормальные пламенные угли. Но некоторое сходство это еще не тождество. Для того чтобы убедиться в том, что полученное вещество было действительно «родственником» природного каменного угля, необходимо было изучить его физические и химические свойства.

Наблюдение за поведением этого угля во время различных опытов показало, что при определенных условиях часть содержащегося в угольном веществе водорода может отдаваться (отщепляться).

Если уголь отщепляет водород, то, вероятно, он будет и присоединять его, а следовательно, при таких реакциях должны образовываться различные углеводороды — сделал вывод Ф. Бергиус.

Гипотеза была заманчивой, она обнадеживала, намечала пути к получению жидких нефтеобразных продуктов из угля с помощью водорода. Однако она не давала конкретного ответа, какими же средствами можно было присоединять водород практически.

Одновременно с изучением процессов образования угля в природе Ф. Бергиус в своей лаборатории разрабатывал методы расщепления тяжелых нефтей на лег-

кие, т. е. исследовал процессы крекинга, тогда еще малоизученные.

Сравнение различных методов получения из нефти легких углеводородов, пригодных в качестве моторного топлива, навело его на мысль попробовать осуществить термическое разложение нефти в присутствии водорода под большим давлением.

Он справедливо полагал, что такой метод крекинга позволит увеличить выход бензина и значительно улучшить качество, поскольку возрастет число насыщенных соединений в результате присоединения водорода к молекулам ненасыщенных углеводородов.

Предположения его полностью оправдались, полученный бензин не имел неприятного запаха, не темнел и не осмолялся, т. е. был лишен тех недостатков, которые ему придают ненасыщенные соединения.

Результаты этих опытов превзошли все ожидания. Они заложили основу новых технических способов крекинга нефти, которые позднее были разработаны Ф. Бергиусом при участии и финансовой поддержке председателя правления акционерного общества нефтяной промышленности Л. Ландсберга. Этот крупный промышленник сразу же высоко оценил их важное практическое значение и возможности получения более высоких прибылей при переработке нефти.

Разработанный Ф. Бергиусом новый технический способ получения бензина крекингом нефти (под давлением 0—12 МПа с участием водорода) был назван бергин-процессом или бергинизацией.

Уже в 1914 г. в Ганновере работала опытно-промышленная установка, которая позднее была значительно усовершенствована. В дальнейшем в городе Рейнау на заводе неподалеку от Мангейма было налажено производство высококачественного бензина в больших масштабах.

Трудно сейчас сказать, что побудило Ф. Бергуса использовать в своих опытах водород и высокое давление. Одна лишь приверженность идее гидрогенизации в подобных условиях, или же, что более вероятно, знакомство с материалами ранних исследований русского ученого В. Н. Ипатьева¹ по разложению некоторых органических веществ и их гидрированию, которые русский ученый опубликовал еще в 1904 г. Их можно считать основами гидрогенизации. Ведь результаты этих исследований были тогда же опубликованы в немецком химическом журнале и, следовательно, были доступны Ф. Бергиусу.

¹ В. Н. Ипатьев также разработал конструкцию автоклава для исследования гидрогенизации различных химических соединений.

Поскольку нефть и уголь близки по химическому составу, Ф. Бергиус полагал, что не должно быть принципиальной разницы в поведении полимерных веществ, из которых состоит уголь, и тяжелых углеводородов, составляющих нефть, при гидрогенизации под высоким давлением и повышенных температурах.

Поэтому исследователь и воспользовался тем же методом гидрогенизации без катализаторов в опытах по ожигению угля, сначала полученного им искусственно, а затем природного каменного и бурого.

При сравнительном изучении поведения разных углей в процессе гидрогенизации под высоким давлением ученый сделал одно очень важное наблюдение. Оказалось, что золообразующие компоненты (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO и др.) не оказывают заметного отрицательного влияния на превращение угля и низкосортные, малоценные угли для обычного применения вполне пригодны для ожигения. Любопытно отметить, что выход жидких продуктов из малозольных, высокосортных коксовых углей был несколько не выше.

Это неожиданное открытие, подтвержденное впоследствии многочисленными опытами ученых разных стран, в том числе и советских, имело важное значение.

Разработанный Ф. Бергиусом на основе глубоких и обстоятельных исследований новый способ ожигения угля открывал возможность получения искусственного жидкого топлива из самых дешевых его сортов, и прежде всего из бурого угля.

В августе 1913 г. Ф. Бергиусу был выдан в Германии (а годом позже и во Франции) патент на его открытие.

Автор утверждал, что при нагревании угля в течение 12—15 ч при температуре около 400°C и давлении водорода 20 МПа можно получить 85 % летучих веществ и растворимых продуктов. При этом расход водорода составляет примерно 10 %.

Метод был прост и не требовал катализаторов¹.

¹ Утверждение Ф. Бергиусом, что его метод не является каталитическим, — неверно. Как со всей убедительностью показали исследования советских ученых В. Н. Ипатьева, В. В. Ипатьева и А. Д. Петрова, катализаторами этого процесса могут служить металлические стенки автоклава. К тому же применявшийся Ф. Бергиусом красный ил содержал кроме оксидов железа глинозем и титан, которые также могли быть хорошими катализаторами. Каталитическое действие может оказывать и зола угля.

Угольная паста — смесь мелкоизмельченного угля с тяжелым маслом — нагревалась в герметической бомбе или автоклаве с мешалкой.

Однако до широкого применения бергинизации, как стали называть предложенные Бергиусом методы гидрогенизации нефти и угля, было еще очень далеко.

Для промышленного использования патентов Ф. Бергиуса в Германии было организовано акционерное общество «Бергин» с капиталом в один миллион марок.

Но при проведении дальнейших исследований сразу же столкнулись с большими трудностями. Оказалось, что сера, которая содержится в углях в большем или меньшем количестве, при гидрогенизации под давлением превращается в сероводород, забирая при этом много водорода. Необходимо было разработать эффективный метод очистки угля от серы, а также выбрать наиболее дешевый способ получения водорода и его регенерации в процессе. К тому же надо подобрать аппаратуру, разработать оптимальные условия ее непрерывной работы и решить еще ряд важных технических вопросов.

Вспыхнувшая внезапно в 1914 г. первая мировая война не только не остановила развернутых обширных исследований, но и, наоборот, способствовала их дальнейшему развитию. Однако продвигались они все же очень медленно. Почти семь лет потребовалось на преодоление всех трудностей — подбор катализаторов, усовершенствование технологии ожижения угля.

В процессе исследований Ф. Бергиус пришел к выводу о необходимости работы с катализаторами и проведении бергинизации в две стадии. Такое усовершенствование увеличило выход бензина и улучшило его качество.

Наконец, в 1922 г. в городе Рейнау близ Мангейма была пущена первая полупромышленная установка, на которой жидкое топливо из угля получали непрерывным методом.

Прошло еще пять лет и неподалеку от крупных залежей бурого угля в городе Мерзебурге известной немецкой фирмой «Фарбениндустри» (с которой Бергиус заключил контракт на десять лет) был построен крупный завод для получения искусственного жидкого топлива из угля производительностью 100 тыс. т в год.

Бурый уголь, который добывали из карьеров в окрестностях Биттерфальда открытым способом, имел влажность около 50 %. На заводе его предварительно подсушивали, затем измельчали и затирали в пасту на тяже-

лом масле. Бергинизацию проводили при температуре 450—460 °С и давлении 20 МПа. Полученный полужидкий продукт отделяли от непрореагировавшего угля, золы и полукокса и разделяли на фракции — легкую (бензиновую) и содержащую среднее и тяжелое масла. Тяжелое масло шло на замешивание новых порций измельченного угля, а среднее — на повторную обработку водородом в других реакторах уже в присутствии катализаторов. При этом выделялся бензин, его очистка производилась в высоких стальных цилиндрах — ректификационных колоннах.

Казалось бы, зачем делать лишнюю работу — готовить угольную пасту. Не проще ли прямо засыпать угольный порошок в реактор. Опыты показали, что загружать уголь, измельченный в порошок, в аппаратуру под высоким давлением очень трудно. К тому же контроль температуры гидрогенизации с необходимой точностью возможен только в подвижной среде. И еще одно важное соображение — растворенные в жидкой среде (фазе) молекулы водорода лучше реагируют с углем.

В последующие годы в Германии было построено пять заводов для получения жидкого топлива методом гидрогенизации из каменного и бурого углей и три завода для выделения жидкого топлива из каменноугольных смол. Они вырабатывали свыше 5 млн. т моторного топлива.

После того как задымилась трубы первого завода по ожигению угля в Германии, бергинизацией заинтересовались промышленники Великобритании (знаменитый нефтяной концерн «Ройял Дач») и Франции (Франко-бельгийское общество «Шнейдер—Крез»). Однако в те годы в этих странах были сооружены только опытно-промышленные установки.

Бензин оказался слишком дорогим и не мог конкурировать с получаемым из природной нефти. Лишь в 1935 г. английская компания «Стандарт Ойл» построила большой завод по переработке угля и угольной смолы, который вырабатывал 100 тыс. т бензина в год.

В дальнейшем на заводах непрерывно шло совершенствование гидрогенизации углей и смолы. Были разработаны эффективные способы защиты аппаратуры от коррозии и повышения ее надежности в условиях работы при высоких температурах и давлениях. И, что особенно важно, для получения дешевого моторного топ-

лива были найдены и освоены методы использования всех побочных продуктов и отходов, а также выделяющегося тепла.

В 1940 г. в разных странах (Великобритания, Япония и др.) уже работали двадцать заводов, на которых жидкое топливо получали из угля путем его гидрогенизации.

Наибольшего подъема промышленность искусственного жидкого топлива достигла в 1940—1943 гг., когда годовой объем его производства во всем мире оценивался 7—8 млн. т, что составляло около 2 % нефтедобычи тех лет. В тот период в мире было около 48 крупных заводов искусственного жидкого топлива.

Больше всего заводов (примерно половина), на которых вырабатывалось тогда около двух третей общего объема мирового производства, жидкого топлива находилось в Германии. Продукция германских заводов покрывала почти 75 % потребности страны в жидком топливе и 100 % — в авиационном бензине.

Высокая цена не смущала покупателей. А стоило искусственное жидкое топливо в три—пять раз дороже, получаемого из местной или привозной нефти. Высокая продажная цена была обусловлена большим расходом сырья (в частности, водорода) и значительными энергетическими затратами. Так, например, расход угля в зависимости от его вида составлял на 1 т жидкого топлива 12—20 т при полукисковании, 7—8 т при гидрогенизации и 6—7 т при синтезе из газов.

Гидрогенизации не случайно отдавали предпочтение. Прежде всего, привлекала возможность применения этого способа для переработки любого вида исходного сырья — каменных и бурых углей, сапропелитов и сланцев, угольных смол и пеков. И еще одно важное преимущество. При работе по методу гидрогенизации получали широкий ассортимент продуктов жидкого топлива: автомобильные и авиационные бензины разных сортов, дизельное топливо, топочный мазут, а также различные углеводородные газы.

Гидрогенизацию проводили в основном в две стадии, пользуясь технологической схемой производства жидкого топлива, которая применялась тогда на немецких заводах. Она несколько изменялась в зависимости от вида сырья.

Но вот кончилась вторая мировая война. На международном рынке упали цены на нефть. В условиях мир-

ного времени искусственное жидкое топливо уже не могло конкурировать с нефтью. Заводы по его производству перешли на выпуск другой продукции или закрылись.

В послевоенные годы делались попытки усовершенствовать технологию гидрогенизации горючих ископаемых и синтеза топлив из газов. Однако они не дали желаемых результатов: жидкое топливо стоило по-прежнему гораздо дороже угля.

СИНТИН-ПРОЦЕСС

Гидрогенизация не единственный способ переработки угля в жидкое топливо.

Бензин можно получить из угля, вернее из газов, образующихся при продувании водяного пара через слой раскаленного угля в газогенераторе — смеси оксида углерода CO и водорода H_2 , так называемого водяного газа. Его пропускают в реактор, где при температуре $180\text{—}200^\circ\text{C}$ и давлении, близком к атмосферному ($0,15\text{—}0,2$ МПа), в присутствии катализаторов (кобальт, никель, железо и др.), происходит химическая реакция — «рождаются» молекулы искусственного жидкого топлива синтола.

Но не вся газовая смесь превращается в бензин и дизельное топливо, лишь около 60 %. Оставшийся газ, в котором содержится еще некоторое количество углеводородов, направляется из реактора в холодильник. Здесь тяжелые жидкости отделяют от газа, пропуская его через адсорбер, наполненный кусками активного угля. Пары содержащегося в газе бензина жадно поглощаются угольной «начинкой». Оставшийся газ снова направляют в генератор, где образуется еще некоторое количество жидкого топлива. Бензин, пойманный активным углем в адсорбционной башне, выделяют и подвергают дополнительной обработке. В технике такой синтез нередко называют «синтин-процессом», а получаемый по этому способу бензин — «синтином».

Такой способ получения моторного топлива из продуктов газификации угля был впервые разработан в лабораторном масштабе также в Германии в 1923—1926 гг. известными немецкими химиками Ф. Фишером и Г. Тропшем (впоследствии лауреатом Нобелевской премии).

Для того чтобы этот способ стал технически пригодным для производства моторного топлива в больших количествах и в то же время был бы экономически выгодным, пришлось преодолеть немало трудностей.

Нужно было получать для синтеза газовую смесь строго определенного состава: на один объем оксида углерода — два объема водорода ($\text{CO} + 2\text{H}_2$). Необходимо было добиться максимально полной очистки от сернистых соединений, которые снижают качество бензина. А чтобы получить высокий выход жидких продуктов, надо было обеспечить проведение синтеза с большим подводом тепла.

И наконец, еще одна немаловажная трудность — для синтеза пользовались кобальт-ториевыми катализаторами. Но стоили они дорого и были к тому же дефицитны. Изобретатели справились и с этим затруднением — разработали оригинальный метод химической регенерации катализаторов.

Потребовалось почти десять лет с начала исследования прежде, чем была построена полупромышленная установка. Зато потом дело пошло быстрее. В 1936 г. на родине изобретателей в городе Оберхауз-Холтене начал работать первый завод по производству искусственного жидкого топлива производительностью 30 тыс. т в год, а спустя четыре года таких заводов насчитывалось в мире уже пятнадцать.

Какими же особыми достоинствами обладает этот метод синтеза, что ему сразу открылась «зеленая улица» в промышленности? Прежде всего получение бензина и других видов жидкого топлива обходится гораздо дешевле, чем при непосредственном ожижении угля. Не нужны дорогостоящие аппараты для создания высокого давления. К тому же синтез проводится при значительно более низких температурах ($170\text{—}200^\circ\text{C}$), чем гидрогенизация угля.

И еще одно преимущество — процесс синтеза сам по себе гораздо проще: исходная газовая смесь только один раз пропускается через слой зернистого катализатора и сразу же образуются жидкие продукты.

Бензин из газов заинтересовал в конце 40-х годов и одну из американских компаний. В 1950 г. был построен большой завод годовой производительностью 300 тыс. т бензина. Владельцы надеялись, что, пользуясь усовершенствованным методом синтеза во взвешенном слое железного катализатора (так называемый хайдрокол-

процесс) удастся из смеси оксида углерода и водорода получить дешевое жидкое топливо. Однако надежды не оправдались. Полученный на заводе бензин был в два раза дороже нефтяного. Пришлось получать газы для синтеза не из угля, а из природного газа.

Более удачными оказались начинания южноафриканских промышленных компаний. В 1957 г. в ЮАР было закончено строительство крупного завода производительностью 260 тыс. т в год для получения искусственного жидкого топлива из смеси $\text{CO} + \text{H}_2$. Сырьем служил дешевый бурый уголь, который добывался на близлежащем месторождении открытым способом. Добыча производилась с помощью экскаваторов и была полностью механизирована. Применение усовершенствованной технологии синтеза, высокопроизводительных методов очистки газов газификации, а также полное использование всех отходов дало возможность компании снизить себестоимость продукции. Этот завод работает до сих пор и дает достаточную прибыль. В 1980 г. закончена постройка второго завода производительностью 1,7—2,2 млн. т жидких продуктов. В 1984 г. должен вступить в строй третий завод еще большей мощности.

ДОРОГОЙ ПЯТИЛЕТОК

В нашей стране исследования по использованию углей в качестве сырья для производства жидкого топлива развернулись широким фронтом, начиная с конца 20-х годов. В 1929 г. по заданию Высшего совета народного хозяйства Н. М. Караваевым (впоследствии членом-корреспондентом Академии наук СССР) и профессором И. Б. Рапопортом в Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева были начаты опыты по гидрогенизации отечественных углей различных марок.

Опыты, которые проводились при температуре 400—470 °C и давлении 25—70 МПа, показали, что выход жидких продуктов (72—91 %) зависит от химического состава и типа углей, в первую очередь от соотношения содержаний углерода и водорода.

Позднейшие исследования, проведенные другими советскими учеными в тех же условиях с различными углями, показывают, что чем выше соотношение содержаний углерода и водорода, тем ниже глубина превраще-

ния органической массы угля в жидкие продукты и тем меньше их получается.

Так, наиболее высокие выходы моторного топлива достигаются при обработке углей Артемовского и Сангарского месторождений (88,9 и 90,64 %), а самые низкие — подмосковных и челябинских бурых углей (77,4 и 78,8 %).

Кроме того, установлено, что применение повышенных давлений водорода для гидрогенизации ускоряет процесс превращения угля и увеличивает выход жидких продуктов.

Советские ученые не только установили эту зависимость, но и нашли ей объяснение. Причина заключается в том, что при более высоком давлении происходит более глубокое превращение органической массы угля и меньше образуется газа.

При исследованиях по получению жидкого топлива из углей, в которых принимали большое участие крупнейшие специалисты — А. Д. Петров, Б. Н. Долгов, Д. И. Орочко, А. В. Фрост и многие другие ученые того времени, было выявлено много важных закономерностей и сделан ряд открытий.

В июне 1932 г. в Ленинграде состоялась Всесоюзная конференция по гидрогенизации угля, созданная научно-исследовательским сектором Наркомата тяжелой промышленности.

Конференция, заслушав доклады о состоянии научно-исследовательских работ в области гидрогенизации горючих ископаемых, пришла к выводу, что можно немедленно приступить к проектированию и строительству промышленных установок для получения искусственно жидкого топлива всех видов.

Подобные установки должны быть построены в кратчайший срок, с тем чтобы данные полупромышленного производства послужили основой для развертывания промышленности искусственного жидкого топлива.

В резолюции, принятой на конференции, указывалось, что выбор места строительства заводов должен определяться: наличием большой потребности данного района в жидком топливе при одновременном удалении от основных нефтяных источников; достаточной сырьевой базой; возможностью получения дешевого водорода.

Под таким районом в первую очередь подразумевалась Сибирь с ее потребностями в жидком топливе, большими запасами каменного и бурого углей, а также са-

пропелитов (особенно в Кузнецком бассейне и в районе реки Барзас, притока реки Томи).

Сапропелиты (греч. *сапρος* — гнилой и *полос* — ил) в отличие от каменных углей, которые ведут родословную от высших растений, произошли из низших форм растений, преимущественно из одноклеточных организмов, которые входят в состав планктона. Сапропелевые угли легче подвергаются гидрогенизации. Выход получаемых из них жидких и газообразных продуктов гораздо выше.

Далее отмечалось важное значение Подмосковского угольного бассейна с его сильно развитой углехимической промышленностью, Урала с его мощной сырьевой базой и Украины с ее бурогоугольными запасами и крупным источником электрической энергии — Днепрогэсом.

В качестве основного направления переработки углей в жидкое топливо конференция предлагала вначале использовать более простой технологический способ — полукоксование. В то же время в резолюции указывалось, что необходимо уже в первый год пятилетки разрешить вопрос о производстве в Советском Союзе материалов для изготовления гидрогенизационной аппаратуры. Высказывалось также пожелание, что второй и третий годы пятилетки должны быть посвящены проектированию заводов по производству жидкого топлива из углей.

Советскими исследователями большое внимание уделялось изучению и подбору катализаторов для гидрогенизации углей.

Тогда уже было известно много катализаторов для гидрирования.

Катализаторы условно можно разделить на две группы. К первой группе относятся катализаторы для процессов, проводимых при атмосферном или повышенном давлении и невысоких температурах. Такие катализаторы быстро отравляются сернистыми соединениями и, следовательно, не пригодны для гидрогенизации углей, смол (например, палладий, платина, никель).

Катализаторы второй группы — кобальт, вольфрам, молибден и их соединения — обладают противоположными свойствами. Они хорошо выдерживают высокие температуры и давления, и им не страшны сернистые соединения. Особенно эффективны сернистый вольфрам и молибден.

Начиная с 1933 г. научные работы по исследованию переработки горючих ископаемых возглавил созданный в Москве Всесоюзный научно-исследовательский институт газа и искусственного жидкого топлива (ВНИГИ) с филиалами в Ленинграде и Новосибирске. В исследованиях этого направления активное участие принимали научные сотрудники Института горючих ископаемых (ИГИ),

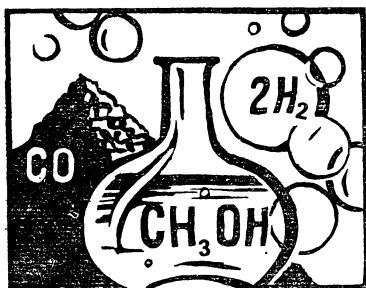
Института органической химии им. Н. Д. Зелинского (ИОХ) в Москве и Научно-исследовательского химического института (УХИН) в Харькове.

В соответствии с рекомендациями конференции по гидрогенизации угля и исходя из наличия в стране ряда коксохимических предприятий в течение первой пятилетки были построены опытные заводы полукоксования в Москве, Ленинграде, Кемерове, а в 1935 г. в Кемерове был пущен первый завод полукоксования, на котором перерабатывалось 300 т угля в сутки.

Накопленный советскими учеными опыт по исследованию гидрогенизации был положен в основу работы первого завода по гидрогенизации бурого угля, пущенного в Харькове в 1937 г., и построенного в Кемерове двумя годами позднее опытного завода по гидрогенизации угольных смол. На этом заводе проводилась также гидрогенизация бурых черемховских углей.

Не менее успешны были и исследования по синтезу моторного топлива, начатые еще в 1934 г. в Государственном научно-исследовательском институте высоких давлений (ГИВД) в Ленинграде и ВНИГИ в Москве.

Успехи, достигнутые к концу 30-х годов, в разработке эффективных способов получения из горючих ископаемых разных видов жидкого топлива послужили основанием для принятия XVIII съездом ВКП(б) решения о создании этой отрасли промышленности — в первую очередь в восточных районах страны.



НА РОДНЫХ
ПРОСТОРАХ

В СОДРУЖЕСТВЕ
С НЕФТЬЮ

В послевоенные годы в Советском Союзе, как и во всем мире, резко снизился интерес к получению искусственного жидкого топлива из угля. С каждой пятилеткой в СССР увеличивались добыча нефти и природного газа и их потребление в промышленности и народном хозяйстве. Одновременно все больше уменьшалась в топливно-энергетическом балансе страны доля каменного угля.

Начавшийся в 70-х годах за рубежом энергетический кризис, повлекший за собой значительное повышение цен на нефть, вновь вызвал в промышленно развитых капиталистических странах (США, ФРГ, Япония, Великобритания и др.) интерес к проблеме получения жидкого топлива из угля. И снова широко развернулись научно-исследовательские и проектные работы.

Пока еще потребность СССР в жидком топливе для все растущего числа автомобилей, тракторов, самолетов полностью удовлетворяется. Однако необходимо помнить, что в дальнейшем прирост добычи нефти и газа будет происходить благодаря освоению новых месторождений отдаленных районов. Работать там придется в сложных климатических условиях, а это значительно повысит стоимость добычи.

Поэтому в решениях XXVI съезда КПСС отмечалось, что надо бережливо использовать материальные ресурсы, добиваться экономии топливно-энергетических ресурсов в народном хозяйстве, рациональнее их использовать.

Одновременно подчеркивалась задача организации производства жидкого топлива на основе Канско-Ачинского угольного бассейна.

Президент Академии наук СССР академик А. П. Александров, указывая в одной из своих статей на все возрастающую роль угля в энергетике, писал, что будет развиваться глубокая переработка угля с водородом или водяным паром. При этом будут получаться углеводородные продукты в газообразной и жидкой форме, все виды жидких топлив для транспорта, смазочные материалы и т. д.

Производство бензина из угля, налаженное в начале 50-х годов в Советском Союзе в промышленном масштабе на первых двух заводах, осуществлялось гидрогенизацией под давлением водорода 60 МПа. Искусственное жидкое топливо, выделенное по этой технологии, обходилось в семь-восемь раз дороже, чем полученное при переработке нефти. Производство жидкого топлива из угля оказалось нерентабельным.

Изменившееся положение с нефтью в конце 60-х годов привело к возобновлению у нас исследовательских работ по искусственному жидкому топливу.

Начатые тогда же Институтом горючих ископаемых совместно с другими институтами широкие исследования дали важные результаты. К началу 80-х годов были разработаны научные основы и принципиально новые технологические схемы производства жидкого топлива из угля.

Ранее применявшиеся в промышленности процессы ожижения угля осуществлялись, как правило, под давлением 22—25 МПа для бурых и 60—70 МПа для каменных углей и сопровождались высоким расходом (до 8 % в расчете на уголь) дорогостоящего водорода. Эти процессы из-за высокой стоимости малопроизводительной аппаратуры и больших затрат на производство не могут применяться ни в настоящее время, ни в перспективе. Поэтому возникла необходимость разработки процессов, протекающих при более низких давлении и расходе водорода.

Работа при низком давлении имеет ряд важных преимуществ. Прежде всего ожижение угля можно осуществлять в реакторах большого объема. А это, в свою очередь, необходимо для крупного промышленного производства синтетического топлива.

Если раньше при ожижении угля под давлением 30—

60 МПа пользовались реакторами объемом не более 10—25 м³, то теперь гидрогенизацию углей под давлением 10 МПа можно проводить в реакторах в десять — двадцать раз большего объема, т. е. 200—250 м³.

При работе по новому методу¹ гидрогенизации угля, разработанному в Институте горючих ископаемых, предусмотрены особые условия ожижения угля.

Чем же они отличаются от условий, при которых осуществляется гидрогенизация твердых горючих ископаемых по ранее принятым методам при высоких давлениях?

Прежде всего, основными конечными продуктами будут высокомолекулярные жидкости, сходные с нефтяным мазутом или гудроном, немного газа и небольшое количество дистиллятных фракций. Анализ этих жидкостей, кипящих при температуре не выше 400 °С, показал, что из них путем дальнейшей переработки можно получить котельное и дизельное топливо, а также высокооктановый бензин.

Для того чтобы уголь стал жидким, необходимо его органическую массу перевести в растворимое состояние. Нельзя ли подействовать на него просто каким-нибудь растворителем?

На первый взгляд, такая мысль кажется вполне заслуживающей внимания. Потому-то поведение угля и изучали в присутствии разных органических растворителей. Действительно, оказалось, что некоторая часть угля (до 40—50 %) ожижается и без давления водорода.

Казалось бы, выход жидких продуктов не такой уж плохой и технологический процесс их получения гораздо проще и дешевле, чем гидрогенизация угля под давлением (даже под невысоким). Однако полученные жидкости имеют высокую молекулярную массу. К тому же их трудно отделить от твердых, непрореагировавших частиц угля. Таким образом, ожижение угля этим способом малоперспективно для промышленного производства жидкого топлива.

Необходимо отметить, что еще в начале 70-х годов известная американская компания «Консол» разрабатывала подобный процесс растворения. Он был испытан на опытной установке. Результаты испытаний и экономические расчеты, проведенные специалистами компании, показали полную нерентабельность такого метода получения жидкого топлива. Поэтому компания «Консол» вынуждена была из-

¹ Метод разработан для гидрогенизации бурых канско-ачинских углей.

менить технологию. Процесс осуществлялся при давлении 7—12 МПа.

Точно так же в ГНР сначала пытались получить искусственное жидкое топливо прямым растворением угля в растворителях без давления, однако это не увенчалось успехом.

В настоящее время польские ученые проводят исследования по прямой гидрогенизации угля.

При проведении ожижения угля под давлением водорода к угольному веществу присоединяется 2—3 % водорода, который подается извне. Водород пока еще является дорогим продуктом. Поэтому у научных сотрудников Института горючих ископаемых, разработавших новый метод гидрогенизации угля, возникла идея использовать для подвода водорода, необходимого для насыщения органических веществ угля, сырую нефть или нефтепродукты, которые содержат гораздо больше этого элемента, чем уголь.

Переработка угля с добавками нефти будет не только дешевле, она имеет и ряд других преимуществ. Нефть или нефтепродукты, богатые водородом, служат эффективными его передатчиками (донорами), потому что они содержат соединения, которые легко дегидратируются, т. е. отщепляют свой водород.

Опыты, проведенные советскими и зарубежными исследователями показывают, что как сырая, так и отбензиненная (та, из которой уже отогнаны бензиновые фракции) нефть всегда содержат относительно большее количество водорода, чем продукты угольного происхождения. В нефти больше водорода и по сравнению с угольным веществом, которое при гидрогенизации насыщают водородом.

И еще одно важное обстоятельство: в нефти и нефтепродуктах имеются такие соединения с подвижным водородом, которые при нагревании очень активно вступают во взаимодействие с углем и осколками молекул разрушающегося при гидрировании угольного органического вещества.

Такая повышенная реакционная способность нефтепродуктов проявляется лишь в том случае, если они до взаимодействия с углем были нагреты до высокой температуры.

Так, при гидрировании смеси угля и нефти (взятых в соотношении один к одному), из которой предварительно были отогнаны фракции, кипящие при 250 °С, степень превращения органической массы угля была почти в полтора раза больше, чем при гидрировании смеси угля и мазута.

Проводя опыты гидрогенизации смеси угля и нефти с нефтепродуктами, научные сотрудники Института горючих ископаемых установили еще одну, очень важную, закономерность.

Оказалось, что степень разрушения нефтепродуктов в этих условиях более чем в полтора раза выше, чем при гидрировании одного только нефтепродукта. Это наблюдение имеет большое практическое значение, потому что нефть, содержащая много серы, может быть в значительной степени от нее очищена.

Действительно, при гидрогенизации под давлением 10 МПа смеси малосернистого угля и нефтепродукта с высоким содержанием сернистых соединений удастся извлечь из него 50—55 % серы. Благодаря этому можно получать, пользуясь новым методом производства искусственного жидкого топлива, котельное топливо с очень небольшим содержанием серы. А это, в свою очередь, исключает необходимость дополнительной очистки от сернистых соединений жидких продуктов гидрогенизации угля.

Высокая реакционная способность нефтепродуктов дает возможность снизить давление в процессе сжижения угля с 60 до 10 МПа.

В Индии несколько лет назад Центральным топливным институтом был разработан способ совместной переработки угля и нефти. Для исследования были взяты угли Северного Ассама, содержащие много редкого элемента германия, который служит хорошим катализатором процесса гидрогенизации. Способ по техническим параметрам (давление 20 МПа, температура 430—440 °С) мало отличается от известных способов термического растворения угля, но обеспечивает высокий выход жидких продуктов — 80 %. Растворителем служат высококипящие фракции, получаемые в самом процессе.

Согласно разработанному проекту, в ближайшие годы будет построен завод, перерабатывающий по этому способу 2,56 млн. т угля и 1,5 млн. т сырой нефти в год, свыше 0,5 млн. т бензина и почти 2 млн. т бензола, толуола и разных других углеводородов.

НУЖЕН КАТАЛИЗАТОР

Применение одних только доноров водорода не может обеспечить достаточно глубокое превращение органической массы угля. И вот, по каким причинам.

Когда гидрогенизация угля проводится в растворителе, при температуре 350—380 °С начинается разрушение (деструкция) его органической части.

Образующиеся продукты деструкции частично стаби-

лизируются донорами водорода, но вследствие транспортных затруднений доноры водорода, имеющие, как правило, значительную молекулярную массу, не могут предотвратить протекание вторичных реакций конденсации продуктов деструкции угля — и глубина его ожигения остается невысокой. Введение водорода в реакционную систему, подвод его к поверхности реагирующего угля существенно влияют на процесс, причем, по-видимому, не только потому, что водород обладает большой проникающей способностью вследствие меньшей молекулярной массы по сравнению с донорами водорода. Молекулярный водород, реагируя с угольным радикалом, диссоциирует с образованием атомарного водорода, который активно воздействует на непревращенную органическую массу угля.

Когда гидрогенизация угля проводится под невысоким давлением (до 10 МПа), концентрация водорода будет в два-четыре раза меньше, чем при гидрогенизации под высоким давлением. Поэтому необходимо сделать водород более активным. А для этого нужны катализаторы.

В разных технологических процессах гидрогенизации угля (а их известно уже более 30), проводимых при высоких и невысоких давлениях, применяют в качестве катализаторов оксиды, сульфиды и другие соединения металлов — олова, железа, молибдена.

Наилучшими катализаторами считаются молибденовые соединения с железом. Они наиболее активны и потому значительно ускоряют процесс и увеличивают глубину превращения органической массы угля. К тому же при использовании подобных катализаторов выделяются жидкие продукты с меньшей молекулярной массой.

Более интенсивному превращению угля в жидкое топливо при гидрогенизации под невысоким давлением кроме катализаторов способствуют также небольшие добавки (1—5 % массы угля) некоторых органических веществ, таких как антрацен, хинолин и др. Они активируют разрушение органической массы угля и к тому же предотвращают протекание вторичных реакций.

Положительное влияние подобных добавок сказывается в зависимости от вида угля в увеличении глубины превращения его органической массы на 10—15 % (с 72—73 до 83—90 %). Точно так же возрастает и выход жидких продуктов.

Однако добавлять подобные соединения надо в стро-

го определенных количествах. Увеличение содержания органических добавок в смеси до 10—15 % приводит к обратным результатам — заметно уменьшается глубина превращения органической массы угля, снижается выход жидких продуктов, резко увеличивается расход водорода.

Изучение поведения канско-ачинских бурых углей и кузнецких каменных углей при гидрогенизации под давлением 10 МПа в присутствии растворителя — смеси нефтепродукта (30 %) и фракций, получаемых при ожигении угля, с температурой кипения выше 300 °С (70 %) дало возможность разработать новый эффективный промышленный способ ожигения угля.

Используя этот метод, можно получать высококачественное искусственное жидкое топливо разных видов — бензин марки АН-93, котельное топливо с содержанием серы не более 1—19,7 %, дизельное топливо разных сортов, которым можно пользоваться и зимой.

И еще одно немаловажное преимущество этого способа — возможность перерабатывать угли в аппаратуре, широко применяемой на различных предприятиях нефтехимической промышленности.

На основе разработанной Институтом горючих ископаемых технологии Грозненский научно-исследовательский и проектный институт нефтехимической промышленности (Грозгипронефтехим) составил технический проект опытно-промышленной установки, на которой будет перерабатываться в сутки 75 т угля.

Проверка нового способа гидрогенизации дает возможность в дальнейшем проектировать предприятия по производству искусственного жидкого топлива.

Как показали предварительные технико-экономические расчеты, капитальные затраты на производство синтетического жидкого топлива из угля по новому способу будут меньше соответствующих затрат на переработку нефти для получения моторного топлива. Следовательно, ниже будет и себестоимость «угольного» бензина.

Однако пока еще бензин, производимый из угля, обходится дороже, чем получаемый из нефти. На современном же этапе при производстве жидких продуктов из угля главной целью является экономия нефти, следовательно, правомерна постановка вопроса об использовании нефти и нефтепродуктов с высоким содержанием водорода для добавок к углю при ожигении в качестве донора водорода. При этом следует учитывать, что стои-

мость водорода, содержащегося в нефти, во много раз меньше, чем стоимость газообразного водорода.

Естественно, что использование нефти для ожижения угля только этап при решении проблемы производства жидких продуктов из угля. При учете технико-экономических выгод от такого комбинированного способа использования нефти этот этап, по-видимому, может длиться сравнительно долго, до тех пор пока истощение запасов нефти станет реальным фактором. За это время, несомненно, будут достигнуты значительные успехи в решении проблемы ожижения угля.

Советскими учеными несколько лет назад был разработан еще один новый, эффективный способ получения жидких продуктов из бурых и каменных углей, а также из сланцев.

В лабораторных опытах угли растворяли в смеси дистиллята с температурой кипения 200—340 °С каменно-угольный смеси и технического тетралина (содержание в растворителе 27—33 %).

Тетралин ($C_{10}H_{12}$) — углеводород, получающийся при воздействии водорода на нафталин в присутствии катализатора никеля под давлением. Бесцветная жидкость, температура кипения 207,5 °С — растворитель, в смеси с бензолом и спиртом — горючее для автомобилей.

Тетралин служил донором водорода. При ожижении углей и сланцев в промышленном масштабе донором водорода будет гидрированная фракция регенерированного растворителя.

Введение в углемасляную пасту некоторых активных добавок и природных активаторов (например, глины) предотвращает образование «коксобразных» продуктов на стенках аппаратов и повышает степень превращения угля. Одновременно уменьшается выделение газа и обеспечивается относительная однородность получаемых жидких продуктов (их расслаивание происходит очень медленно).

Наибольшая степень превращения органической массы угля достигается при совместном применении активных добавок (0,15—0,25 %) и природных активаторов (2,1—3,6 %). Для бурого угля она составляет 69 %, для каменного угля 50 %. Процесс проводился при давлении 5 МПа и температуре 420 °С. Из жидких продуктов ожижения угля получают бензиновую фракцию с температурой кипения до 200 °С и экстракт с температурой кипения 300—330 °С.

Такой экстракт в смеси с твердым остатком может быть использован как связующее для дорожных покрытий и угольных брикетов, а также для производства электродного кокса. Не пропадает и твердый остаток, который является прекрасным энергетическим топливом.

Проверка этого способа ожижения угля на опытной установке позволит в ближайшем будущем проектировать и промышленные установки для получения жидкого искусственного топлива.

В разных странах разработаны свыше 60 различных технологических процессов, которые не являются принципиально новыми, но каждый из них существенно отличается по каким-то техническим или экономическим показателям от старых способов производства жидкого топлива из угля.

Например, в США разработан ряд эффективных технологических процессов ожижения угля. В штате Кентукки работает установка, на которой перерабатывают 600 т угля в сутки.

Углемасляная паста, содержащая 35% угля, перерабатывается под давлением 20 МПа и при температуре 450 °С. Отличительная особенность этого способа — применение мелкозернистого катализатора (алюмокобальт-молибденового), который в процессе гидрогенизации непрерывно циркулирует в реакторе. На этой установке получают ежедневно 320 т котельного топлива.

Почти 90% органического вещества угля превращается в жидкие и газообразные продукты. Выход синтетического топлива достигает 74% при расходе водорода 4,7%. Не пропадают и отходы, шлам, в котором содержится почти половина твердых частиц, подвергается коксованию.

С 1980 г. в Бейтауне (штат Техас) работает опытная установка по ожижению угля производительностью 250 т в сутки (по сырью). В отличие от традиционных методов гидрогенизации водород поступает к углю от донора-растворителя, гидрирование которого производится в отдельном реакторе.

Заслуживает внимания и другой процесс, разработанный фирмой «Луммус» в 1977 г. Гидрогенизация проводится при той же температуре, что и во многих других процессах, но под несколько меньшим давлением — 18 МПа. Главное же отличие его от других технологических способов — применение высокоактивных катализаторов (молибденовых, вольфрамовых и др.), которые находятся в реакторе, в так называемом кипящем слое, т. е. разрыхленном состоянии. Расход катализатора — 0,5 кг на 1 т угля. И еще одна особенность — при переработке шлама его разделение производится с добавкой растворителя и некоторых активирующих веществ.

В ближайшие годы предполагается постройка крупного завода для получения бензина из угля по этому методу производительностью 2 млн т в год. Планируется также строительство новых опытных установок и промышленных предприятий для получения жидкого топлива из угля другими методами.

СПИРТ—ГОРЮЧЕЕ

Наряду с разработкой новых способов гидрогенизации угля советские ученые за последнее десятилетие большое внимание уделяли (и продолжают уделять)

получением жидкого искусственного топлива и химических продуктов из синтез-газа (смесь оксида углерода CO и водорода H_2), получаемого газификацией бурых и каменных углей.

Еще десятки лет назад за рубежом, в разных странах — в США, ФРГ, Японии и др., было начато промышленное получение моторных топлив из синтез-газа по методу Фишера—Тропша (синтин-процесс). Однако из-за дороговизны получаемого бензина и некоторых технических трудностей в осуществлении самого процесса он не получил развития.

Синтез искусственного жидкого топлива из оксида углерода и водорода по методу Фишера—Тропша был освоен в Советском Союзе еще в первые послевоенные годы. В 1952 г. на Новочеркасском заводе синтетических продуктов было начато производство бензина из синтез-газа, которое осуществляется и в настоящее время¹.

До сих пор, однако, еще не изучен полностью механизм образования жидкого топлива различных видов — бензина, дизельного и котельного топлива, а также жидких и твердых углеводородов (например, парафинов — сырья для производства моющих средств).

Как и в других технологических процессах получения искусственного жидкого топлива из угля (пиролиз, гидрогенизация), при синтезе его из оксида углерода и водорода важную роль играют катализаторы. Потому советские ученые (так же как и зарубежные) усиленно занимались подбором наиболее эффективных катализаторов, которые позволили бы повысить выход жидких продуктов из синтез-газа и получать бензин с более высоким октановым числом.

Уже почти полвека назад ученым было известно, что пригодны в качестве катализаторов для производства искусственного жидкого топлива из синтез-газа кобальт, никель, железо, рутений с добавками оксидов других металлов.

На выход жидких продуктов влияет не только применяемый катализатор, но и главным образом условия проведения процесса — давление и температура. Наибольший выход бензина получается при давлении 0,5—

¹ Широкие исследования по использованию синтез-газа проводятся в Москве в Институте органической химии им. Н. Д. Зелинского АН СССР, Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева АН СССР, Институте катализа СО АН СССР, в Томском политехническом институте и др.

1 МПа и температуре не выше 400 °С. При повышении температуры сверх этого предела увеличивается выход метана и уменьшается срок работы катализаторов. Понижение температуры влечет за собой еще большие неприятности — заметно снижается выход бензина.

А как же сказывается повышение давления? Так же отрицательно: увеличивается количество твердых углеводородов — парафинов и уменьшается выход жидких продуктов и газов.

Вначале пользовались кобальтовым катализатором, но он стоит очень дорого. Потому исследователи стали изучать возможности замены его более дешевым железным катализатором.

В настоящее время в Томском политехническом институте изучают механизм и скорости процесса получения жидких топлив из оксида углерода СО и водорода на железооксидных, железомедных и железохромовых катализаторах.

Проведенные недавно опыты показали возможность получения ценных химических продуктов на этих катализаторах из смеси водорода и оксида углерода, содержащихся в отходящих газах некоторых производств, в частности Новокузнецкого завода ферросплавов.

Правда, при синтезе из таких газов не получается ни бензина, ни дизельного или котельного топлива. Однако продукты синтеза могут применяться для производства моющих веществ (парафинов и жидких углеводородов), для получения белково-витаминных концентратов в микробиологической промышленности.

Технико-экономические подсчеты показывают, что химическая переработка отходящих промышленных газов дает возможность снизить себестоимость продуктов, получаемых при синтезе, на 20 %. А капитальные вложения окупаются в течение немногим более двух лет.

Разрабатывая новые технологические схемы производства искусственного жидкого топлива, советские ученые испытывают катализаторы новых видов — неметаллические. В последние годы созданы так называемые цеолитные катализаторы, которые обладают высокой избирательностью (селективностью) к синтезу высококачественного бензина. Особенно хорошо зарекомендовали себя в производстве высокооктанового бензина из смеси оксида углерода СО и водорода H_2 сверхвысококремнеземистые кристаллические цеолиты (так называемые СКВ-цеолиты).

Цеолиты (греч. *цео* — кипеть и *литос* — камень) были названы так более 200 лет назад шведским ученым Кронштедтом потому, что при нагревании выделяют воду. Эта особая весьма распространенная в природе группа минералов — алюмосиликатов (т. е. содержащих алюминий и кремний).

Значительное место в исследованиях советских ученых последних лет занимает синтез метанола (метилового спирта) из оксида углерода CO и водорода H₂. В настоящее время у нас уже разработана более совершенная технологическая схема его производства.

Пользуясь медно-цинковыми катализаторами с добавкой оксида алюминия, удалось снизить температуру процесса получения метанола с 370—420 до 170—240 °C и давление с 20—35 до 5 МПа. А это, в свою очередь позволяет значительно уменьшить затраты на его производство.

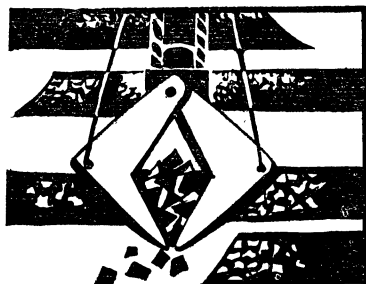
Если еще относительно недавно метанол преимущественно использовался для получения из него формальдегида, то сейчас он становится важным источником производства высокооктанового бензина. Все чаще метанол начинают добавлять к бензину.

Уже несколько лет в СССР ведутся опытные работы по эксплуатации двигателей на смесях метанола с бензином, которые дали вполне удовлетворительные результаты.

По мнению видного советского специалиста по синтетическому топливу С. М. Локтева, оно сможет конкурировать с использованием сырой нефти, если 1 т бурого угля будет стоить в шесть раз дешевле 1 т нефти. Такой уголь имеется у нас в Восточной Сибири.

При переработке канско-ачинских углей в метанол в целях обеспечения западных районов топливом процесс газификации и синтеза метанола позволит соединить самый дешевый энергетический ресурс страны с наиболее экономичным видом транспортировки жидкого топлива по трубопроводам.

Учитывая важность дальнейшего удешевления метанола и других жидких продуктов, получаемых из синтез-газа, советские ученые продолжают дальнейшие исследования по усовершенствованию технологии их производства.



СИБИРСКИЙ ГИГАНТ

НА СОТНИ ЛЕТ

Среди многих буквенных сокращений, которые в последние годы прочно вошли в нашу речь, особенно часто упоминается слово «КАТЭК». Его можно нередко услышать по радио, прочитать в газете, встретить в общественно-политических и технических журналах. И не случайно оно пользуется теперь таким вниманием. Ведь оно означает Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс, который по решению партии и правительства создается быстрыми темпами в Красноярском крае.

По программе развития КАТЭК наряду с производством электроэнергии для нужд Сибири, Урала и европейской части СССР предусматриваются переработка угля с получением синтетического твердого топлива с большой теплотой сгорания, а также производство жидкого топлива.

Синтетическое жидкое топливо будет получаться на основе отечественной технологии, по которой требуется меньше затрат, чем выработка аналогичной продукции из нефти худших месторождений страны.

В ближайшие две пятилетки мы должны значительно увеличить топливно-энергетические ресурсы и обеспечить электроэнергией, твердым и жидким топливом промышленность, транспорт и сельское хозяйство.

Одно из ключевых мест в решении этой государственной задачи отводится Канско-Ачинскому угольному бассейну.

Запасы угля в недрах этого уникального месторож-

дения значительны (геологи оценивают их в 120 млрд. т). Угольные пласты тянутся по обе стороны Транссибирской железной дороги, чуть ли не от Кемерово до Иркутска.

Большая часть углей сосредоточена на Итатском, Барандинском, Урюпском, Березовском, Назаровском, Боготольском, Бородинском и Абанском месторождениях бассейна. Уже сейчас на Назаровском, Ирша-Бородинском и Березовском разрезах ежегодно добывают десятки миллионов тонн угля.

Много достоинств у канско-ачинского угля, несмотря на то что он обладает теплотой сгорания в три раза меньшей, чем каменный уголь из шахт Донбасса и Караганды, Печорского или Кузнецкого бассейнов. Зато Красноярский уголь при сгорании оставляет мало золы, его зольность в два-три раза меньше, чем каменного угля и антрацита разных марок. К тому же в нем почти нет серы. А это имеет важное значение для сохранения «чистого неба» в промышленных районах. При сгорании угля в топках заводских печей и паровых котлов электростанций атмосфера не будет загрязняться вредным сернистым газом.

И еще одно большое преимущество. Мощные пласты угля (12—50 м) залегают на небольшой глубине, близко к поверхности. Недаром, еще в прошлом веке крестьяне из деревень и сел Шарипово, Дубинино, расположенных на территории современного Канско-Ачинского угольного бассейна, нередко на своих огородах и дворах просто выкапывали неглубокие ямы и доставали себе уголек, который и горел в деревенских печах.

Добывать уголь в этом бассейне гораздо дешевле и легче. Обстоятельство немаловажное. Ведь каковы бы ни были преимущества угля, но если стоимость его добычи будет слишком высокой, то нет смысла разрабатывать данное месторождение. Иное положение в Канско-Ачинском угольном бассейне.

Здесь не нужно строить дорогостоящих шахт, пользоваться сложными и дорогими машинами: комбайнами, погрузчиками, механизированными комплексами.

Поскольку уголь залегают здесь неглубоко, добывать его можно открытым способом. Для этого нужно убрать прикрывающий угольные толщи слой почвы и горных пород и затем экскаваторами выбирать уголь. На разрезах, где бурый уголь добывают открытым способом, капитальные вложения и эксплуатационные затраты на единицу продукции невелики. Дешевой добыче угля

способствует и геологическая структура самих месторождений.

По подсчетам экономистов эксплуатационные расходы на добычу Канско-Ачинского угля в шесть раз ниже, чем в Минусинском бассейне, и в три раза ниже, чем в Кузнецком бассейне. Уже сейчас себестоимость добычи угля здесь самая низкая в стране. В дальнейшем с более широким использованием канско-ачинских углей в народном хозяйстве затраты на их добычу станут еще меньше.

Неподалеку от старинного села Шарипово несколько лет назад была начата добыча угля на Березовском опытном участке. Участок этот невелик, но он является началом большого угольного разреза, который со временем будет одним из самых крупных среди своих «собратьев» в Канско-Ачинском угольном бассейне. Он будет первый среди равных. На Березовском промышленном разрезе предполагается добывать свыше 50 млн. т угля в год. Такого гиганта у нас в стране еще не было.

Уже издали видны огромные кучи вывороченной земли, а за ними силуэты больших и малых экскаваторов.

Представьте огромный котлован или громадную канаву шириной в несколько сот метров и глубиной в несколько десятков метров. Это — разрез, где уголь добывают открытым способом. Если угольную шахту нередко именуют заводом под землей, то угольный разрез можно по праву называть заводом под открытым небом. Немало разных машин можно увидеть в разрезах, но больше всего среди них экскаваторов.

Вот перед вами громадный шагающий экскаватор. Он, словно гигантское доисторическое чудовище, передвигается на огромных стальных лапах. Высоко, в кабине, сидит машинист. Как только он слегка поворачивает рычаг, стальные зубья ковша вгрызаются в пласт угля. Новый поворот рычага — ковш стремительно летит вверх и повисает над вагонами, стоящими на рельсах, проложенных вдоль карьера. Подвижное днище ковша оттягивается, и куски угля летят вниз, в вагоны. Когда состав наполнится углем, локомотив увозит его из карьера.

Рядом с железным великаном, добывающим за час 250 м³ угля, здесь можно увидеть и другие экскаваторы, поменьше. У некоторых только один маленький ковш, у других — их несколько.

Медленно движется по рельсам многоковшовый экс-

каватор. Его черпаки, закрепленные на равном расстоянии друг от друга железной цепью, лезвиями срезают породу, захватывают ее и несут в бункер.

У другого экскаватора многочисленные ковши расположены по ободу большого колеса. Когда оно вращается, черпаки друг за другом врезаются в грунт, наполняются и высыпают свой груз на ленту конвейера. Такой экскаватор называют роторным. На наших разрезах теперь появились роторные экскаваторы — гиганты производительностью 10 тыс. м³ в час.

Горняки Канско-Ачинского бассейна, пользуясь столь мощной техникой, с каждым годом перевыполняют планы добычи угля.

ТРАНШЕЯ ПРОТИВ ШТАБЕЛЯ

Наряду с преимуществами (о которых уже говорилось выше) канско-ачинский бурый уголь имеет и ряд недостатков.

Один из них — большая влажность (44—50 %). Поэтому местный уголь невыгодно перевозить на большие расстояния (на Урал или в центральные районы страны), учитывая к тому же его низкую теплоту сгорания. Другой недостаток, значительно усложняющий вывоз угля за пределы Красноярского края, — склонность к самовозгоранию при хранении в штабелях на воздухе или в открытых складах.

Ученые Советского Союза и других стран изучают самовозгорание и самовоспламенение углей. Ведь этим свойством обладают в различной степени и каменные угли разных марок.

Несмотря на многочисленные исследования последних лет, среди ученых до сих пор нет единого мнения о причинах повышенной склонности к самовозгоранию (т. е. химической активности) тех или иных углей. Одни считают, что она тем больше, чем выше степень углефикации, другие же полагают, что самовозгорание углей и скорость их окисления зависят главным образом от содержания и вида минеральных примесей, в частности железа.

Например, при анализе образцов угля Ирша-Бородинского месторождения были обнаружены органические и комплексные соединения железа, которые, по мнению исследователей, ускоряют процессы окисления угля.

Для того чтобы выяснить, как скоро уголь начинает нагреваться и появляются очаги самовозгорания, были заложены пять штабелей канско-ачинского угля (три из назаровских углей, два — из ирша-бородинских углей) по 750—900 т в каждом. Оказалось, что при длительном хранении в неблагоприятных условиях эти явления обнаруживались спустя 23—47 дней. Однако разные партии угля нередко одного и того же месторождения могут храниться разные сроки без самовозгорания. Одна партия может лежать две недели, а другие — дольше. Видимо, это зависит еще и от химического состава углей тех или иных партий.

Для того чтобы успешно лечить болезнь, нужно сначала поставить правильный диагноз. Только тогда можно выписывать пациенту нужное лекарство.

Точно так же поступили и научные сотрудники Института горючих ископаемых. Они стали изучать механизм окисления углей кислородом воздуха при хранении. Оказалось, что если хранить уголь в вырытых в земле открытых траншеях, то он не самовозгорается, не теряется и его качество не ухудшается.

После загрузки угля в такую траншею температура в угольном массиве будет невысокой и воздух сможет проходить сверху вниз (газопоток первого типа). В зависимости от склонности угля к окислению в течение какого-то времени весь кислород воздуха в траншее будет израсходован на окисление угля. Следовательно, уголь окажется в атмосфере углекислоты и азота. Поступление новых порций воздуха возможно только в результате диффузии в тонком поверхностном слое. Этот процесс идет очень медленно — и интенсивного окисления угля не может быть. Самовозгорание же в таком тонком слое невозможно, так как тепло отводится очень легко.

Такой метод позволит хранить уголь в течение практически не ограниченного времени без заметных потерь и возможного самовозгорания, независимо от его склонности к окислению.

Широкое применение траншейного метода, по мнению исследователей, даст возможность значительно увеличить дальность перевозок канско-ачинского угля и будет способствовать быстрому увеличению его добычи в карьерах, а следовательно и большим объемам его переработки.

Но пока еще траншейный метод хранения не получил широкого распространения. Не решен до сих пор и ряд важных вопросов, связанных с транспортировкой канско-ачинского угля на далекие расстояния. За последние 10—15 лет несколько раз отправлялись довольно боль-

шие партии ирша-бородинского угля во Владивосток (1 млн.т), Ташкент, Алма-Ату, Улан-Удэ и даже в Москву и Калинин.

Однако решение технических вопросов, связанных с перевозкой и хранением, не обеспечивает само по себе эффективности использования рядовых канско-ачинских углей в районах Урала и Центра из-за их высокой влажности (более 44 %) и низкой теплоты сгорания (12 540—15 888 Дж).

Перевозка углей такого качества в эти районы увеличит стоимость единицы тепла в них. Расходы по перевозке на единицу тепла будут значительно меньше, если перед отправкой в другие районы снижать влажность рядового угля и одновременно повышать его теплоту сгорания.

Куда же пойдет основная масса угля, который будут добывать на Березовском и других угольных разрезах, намеченных к вводу в строй в ближайшие годы в Канско-Ачинском угольном бассейне? Кто же станет его главным потребителем?

Для того чтобы снабдить всех потребителей электроэнергией, обеспечить все возрастающие нужды промышленности и народного хозяйства, мы строим новые мощные гидроэлектростанции, создаем атомные электростанции, а также сооружаем и тепловые. Вот им-то и потребуется канско-ачинский бурый уголь.

ПРИОБРЕТЕННОЕ БЛАГОРОДСТВО

Раньше, когда сжигали уголь в котельных фабрик и заводов, электростанций и общественных зданий, словно гигантские змеи, вились кольцами черные клубы дыма над высокими трубами. Вместе с дымом уходила в атмосферу и часть тепла. К тому же ценнейшие вещества выбрасывались на ветер.

Когда уголь был дешев, с этим как-то приходилось мириться. Но сейчас, когда производство энергии резко возросло, такое положение ведет к потере нужных продуктов и усиленному загрязнению окружающей среды.

Вот потому-то ныне ученые разрабатывают новые эффективные способы сжигания угля, которые позволяют гораздо шире использовать низкосортное топливо, особенно бурые угли богатого Канско-Ачинского угольного бассейна.

За последние годы большие успехи достигнуты в изменении некоторых природных свойств углей, улучшении их качества. Это осуществляется облагораживанием углей путем термической (тепловой) их обработки в особых агрегатах различной конструкции.

Разработан новый оригинальный способ облагораживания угля. Из канско-ачинских углей получают энергетическое топливо — термоуголь с высокой теплотой сгорания (24 МДж/кг).

Для превращения канско-ачинских углей в такой продукт необходимо удалить из них влагу, которой содержится более 44 %. Кроме того, нужно уменьшить в них содержание кислорода. И еще одно условие — процесс облагораживания необходимо вести так, чтобы часть расходуемого топлива при обработке угля обеспечила бы процесс необходимым теплом.

Дробленый уголь (до крупности 5 мм) нагревается до 450 °С в вихревых камерах, сконструированных советскими учеными. При нагревании до такой температуры некоторая часть его органической части разлагается, выделяются горючие газы, которые, сгорая, дают нужное для нагрева угля тепло. Эти газы обеспечивают скоростной нагрев исходного угля, идущий в три стадии. Происходит это потому, что горючие газы находятся в непосредственном контакте с частицами угля, проникая в его микропоры.

На первой стадии уголь теряет при нагреве большую часть влаги и одновременно использует тепло газа-теплоносителя, температура которого не превышает 250—300 °С. Происходит почти мгновенное испарение влаги — и частицы угля разрушаются. Гранулометрический состав, как говорят в технике, усредняется, т. е. частички угля по крупности становятся более однородными.

Это обстоятельство имеет немаловажное значение для успешного проведения процесса облагораживания угля на последующих стадиях нагрева. Мелкие частицы угля, мало отличающиеся друг от друга по размерам, будут быстрее и равномернее прогреваться.

На второй стадии уже несколько подсушенный уголь нагревается до 350—380 °С и из него удаляются остатки влаги. В то же время при этой температуре происходят и некоторые существенные термические превращения угля. Так, разрушаются молекулы некоторых органических веществ, входящих в состав угля, от них отщепляются группы, содержащие кислород (функциональные),

которые реагируют с облагораживаемым углем, и образуются оксиды углерода и вода. Они удаляются в циклоне газом-теплоносителем, который направляется (противотоком) в первую ступень и, далее, на рециркуляцию.

На третьей стадии уголь нагревается до 450°C и после очистки от пыли в пылеотделителе поступает в реактор-кондиционер. В этом аппарате, разделенном на четыре зоны, нагретый уголь выдерживается некоторое время и постепенно охлаждается. Здесь спустя две минуты происходит разрушение (деструкция) молекул высокомолекулярных (полимерных) веществ угля и образуются низкомолекулярные вещества (газ, вода, смола). Эти продукты, которые не могли образоваться на третьей стадии из-за быстрого нагрева угля, используются в качестве топливного газа с высокой теплотой сгорания ($25\,080\text{—}29\,260$ Дж). Газ сжигается в топках печи нагрева рециркулирующего теплоносителя. Одновременно здесь же дожигаются угольная пыль и различные вредные примеси, а избыток газа выбрасывается в атмосферу.

В последние годы стали использовать и избыток газа после топки — для нагрева воздуха помещений и в некоторых технологических агрегатах.

После такой термической обработки канско-ачинский уголь лишается своих главных недостатков — склонности к самовозгоранию и смерзаемости. Сгорая в топках котельных электростанций, термоуголь не только дает почти в два раза больше тепла, т. е. обладает более высокой теплотой сгорания, но и горит без дыма. Над дымовой трубой более не вьется бурое облачко, как при сжигании обычного канско-ачинского угля, а струится поток светлых и прозрачных газов.

И еще одно важное преимущество. При сжигании термоугля КПД паровых котлов увеличивается на 2—4 %.

Производство термоугля не требует значительных капитальных затрат и большого числа агрегатов. Достаточно трех вихревых камер, циклона, реактора-кондиционера, турбовоздуходувки и мельничного вентилятора. За исключением вихревой камеры и аппарата теплового выдерживания и охлаждения термоугля, все оборудование стандартно и изготавливается на наших заводах серийно.

Прежде чем рекомендовать разработанную в Институте горючих ископаемых технологическую схему полу-

чения термоугля для промышленного производства, было решено проверить, насколько она экономически эффективна.

Для технико-экономической оценки различных вариантов технологической схемы и проверки основных параметров процесса термической обработки угля была разработана математическая модель, которую запрограммировали на ЭВМ. В основу программы были положены обычные характеристики материального и теплового баланса отдельных узлов технологической схемы, которые всегда применяются в инженерных расчетах.

Результаты обработки математической модели ЭВМ не обманули ожиданий проектировщиков. Они позволили разработать технический проект полностью автоматизированного завода для производства термоугля из бурых углей Канско-Ачинского угольного бассейна.

В 70-х годах наряду с технико-экономической оценкой производства термоугля проверялась и технология его производства в вихревых камерах на стендах Института горючих ископаемых при Московском коксогазовом заводе и на опытно-промышленной установке «Кумышская».

В зависимости от свойств исходного канско-ачинского угля выход термоугля достигает 50—55 %. Он содержит 30—35 % летучих веществ, 5—6 % воды и на 80 % состоит из мелких частиц (до 0,5 мм).

Поскольку термоуголь мелкозернистый, его невозможно транспортировать в обычных железнодорожных товарных вагонах, которые применяются для перевозки угля. В каких же емкостях следует его перевозить?

Оказалось, что наиболее удобны для перевозки термоугля полувагоны с цельнометаллическим глухим кузовом.

Но возникла еще одна проблема — уголь при транспортировке будет выдуваться. Чем же защитить его от выдувания? Покрывать брезентом — дорого и неудобно. Химики предложили покрывать уголь тонкой водоэмульсионной пленкой, получаемой смешением мазута с водой в определенных пропорциях. Такая пленка стоит дешево и надежно предохраняет термоуголь от выдувания.

Главными потребителями термоугля станут современные тепловые электростанции, но весьма перспективно и использование его в парогенераторах небольших размеров новых типов, конструкции которых разработаны в Центральном котлотурбинном институте им. И. И. Ползунова. Они почти в два раза меньше по габаритам парогенераторов, применяемых ныне на ТЭС.

Существуют различные способы превращения угольной мелочи в кусковое бездымное топливо для нужд коммунально-бытового хозяйства.

В решениях XXVI съезда КПСС отмечается необходимость увеличить поставку угольных брикетов для коммунально-бытовых нужд. Выполняя эти решения, ученые разработали эффективный способ производства термобрикетов из канско-ачинских бурых углей. В основу его положен тот же принцип, что и при получении термоугля, — скоростное нагревание в вихревых камерах при тех же температурах предварительно измельченного угля. Но есть и коренное отличие.

На горячий уголь ($380\text{—}395^\circ\text{C}$) накладывается внешнее механическое давление. Иными словами, горячий уголь из аппарата выдерживания (где он находится всего $20\text{—}45$ с) попадает на штемпельный пресс и прессуется под давлением. Пресс работает с автоматическим регулятором давления, который обеспечивает соблюдение заданного режима прессования. Этот метод позволяет получать термобрикеты из мелкого угля без связующих веществ.

При сжигании термобрикетов в отопительных печах и топках бытовых водогрейных котлов КПД агрегатов составляет почти 75 %, он выше на 12 %, чем при сжигании сортового угля, и на 25 %, чем обычного (рядового) угля. И еще одно преимущество термобрикетов — они при сгорании выделяют в два раза меньше дыма, чем обычные и сортовые угли.

Для того чтобы выделять из канско-ачинских углей (точно так же, как и из бурых каменных углей других месторождений) более ценное топливо, которое при сжигании будет давать больше тепла, т. е. обладать более высокой теплотой сгорания, можно перерабатывать их и по другому способу.

Такой метод несколько лет назад разработали в Энергетическом институте имени Г. И. Кржижановского. Назвали его энерготехнологическим.

Сущность его заключается в том, что при нагревании пылевидного или мелкоизмельченного угля в реторте без доступа воздуха при температуре $500\text{—}850^\circ\text{C}$ происходит его разложение (пиролиз). Если нагрев производится с большой скоростью, то образуются смолы и горю-

чий газ с теплотой сгорания около 20 900 Дж, а также твердый остаток — полукокс, иначе называемый коксификатом (примерно 30 %). Это ценное топливо для электростанций и металлургических заводов, поскольку оно имеет высокую теплоту сгорания (21 180—29 260 Дж).

Из смолы можно получить искусственное жидкое топливо и ряд ценных химических продуктов, в том числе дефицитное сырье для органического синтеза — крезолы, резорцин, пирокатехин и др. По химическому составу эта смола ближе к нефти, чем твердый уголь, — в ней на одну часть водорода приходится восемь частей углерода. (Напомним, что в угле на одну часть водорода приходится пятнадцать — двадцать частей углерода).

Поскольку нагрев бурового угля ведется с большой скоростью, первичные продукты, полученные при нем, не разлагаются, так как не успевают протекать побочные реакции. А они-то и вызывают образование сажи.

Высокоскоростной пиролиз при таком методе переработки углей достигается за счет использования комбинированного теплоносителя, т. е. газового и твердого.

Термическая переработка угля проводится в несколько стадий. Сначала уголь измельчается в шахтной мельнице, подсушивается и нагревается дымовыми газами до температуры 110—150 °С. Затем следуют нагрев угля газовым теплоносителем в реторте до температуры 300—400 °С, скоростной пиролиз твердым теплоносителем при 600—650 °С в камере термического разложения, получение твердого и газообразного теплоносителей с температурой 800 °С и, наконец, охлаждение полукокса и конденсация жидких продуктов, полученных при термическом разложении.

Метод термической переработки был проверен на небольших опытно-промышленных установках производительностью 4—6 т/ч. Проверка показала, что из 1 т рядового канско-ачинского угля влажностью 32 % можно получить 325 кг полукокса, 42 кг смолы и 58 м³ газа с теплотой сгорания 19 896 Дж.

Так бурый уголь Канско-Ачинского бассейна станет со временем весьма солидным конкурентом нефтепродуктов и природного топлива.

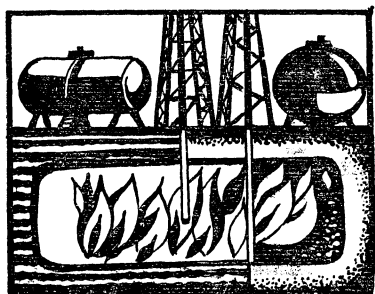
Экономисты подсчитали, что себестоимость производства химических продуктов при энерготехнологической переработке канско-ачинских бурых углей ниже, чем при обычной сухой перегонке углей в коксохимическом производстве. Причина заключается в том, что бурый уголь

стоит гораздо дешевле каменных углей и выход продуктов пиролиза выше.

Весьма эффективны и перспективны для углей Канско-Ачинского бассейна новые методы получения жидкого топлива — бензина, метанола (ожижение угля и газа, газификация в кипящем слое и др.).

Промышленное освоение новых технологических методов не только значительно увеличит производство жидких топлив и газа, но и улучшит охрану окружающей среды, поскольку она не будет загрязняться вредными веществами, обычно выбрасываемыми в атмосферу. Проектировщики предусмотрели при разработке технологических схем специальные аппараты, которые будут полностью улавливать сернистые и другие, вредные соединения.

Сейчас трудно судить, какому из новых методов будет отдано предпочтение на КАТЭКе, поскольку они требуют проверки в промышленном масштабе. Возможно, наиболее выгодными окажутся термическая или паровая обработка углей, ожижение или их газификация.



ИЗ НЕДР
ГОРЮЧЕГО
КАМНЯ

И СВЕТИТ, И ГРЕЕТ

Еще алхимики в поисках несуществующего «философского камня» производили различные опыты с углем. Они раскаливали его на огне, нагревали в наглухо запаянных ретортах. Газ, который выделялся при накаливании угля в замкнутом пространстве, алхимики называли «горючим воздухом» или «философской свечой». Однако, увлеченные идеей превращения неблагородных металлов в золото, они даже и не помышляли о каком-либо практическом использовании горючего газа.

Интерес к «горючему воздуху» возродился только в XVIII веке, когда начался бурный рост городов, появились крупные фабрики и большие заводы, стали строиться многоэтажные дома. Возникла необходимость в создании новых, более совершенных способов освещения. Масляные лампы и сальные свечи, которыми пользовались испокон веков, были вытеснены газовыми светильниками.

На рубеже XVIII и XIX столетий англичанин Фредерик Винзор сконструировал приборы для получения светильного газа из угля и для освещения газом. Его предложение ввести в Лондоне газовое освещение было встречено неодобрительно многими консервативно настроенными государственными и общественными деятелями. Особенно резко противодействовали новшеству владельцы свечных заводов, которые боялись потерять прибыли.

Изобретатель подвергся ожесточенной травле, его объявили сумасшедшим, высмеивали в газетах и со сце-

ны. Однако ни гнусные оскорбления, ни нелепые выходки бульварных газет, ни грязные памфлеты не могли утратить Винзора и заставить его отказаться от своего начинания.

В 1807 г. огни газовых фонарей впервые зажглись на улицах Лондона. Появившись на берегах Темзы, газовое освещение стало быстро распространяться в больших городах Европы и Америки.

В 1816 г. в Америке, в городе Балтиморе, задымили трубы первого американского газового завода, а спустя четыре года появились газовые фонари в Париже. В 1826 г. был пущен первый газовый завод в Берлине, а в 1835 г. — и в Петербурге. К концу XIX века в России было уже несколько таких заводов — в Москве, Одессе и других городах.

Долгое время газ, вырабатывавшийся на городских газовых заводах, служил только для освещения, поэтому его стали называть светильным газом. Позднее каменноугольный газ, как правильное следует его именовать, начали применять для отопления помещений и приготовления пищи.

Почти столетие продолжалось триумфальное шествие газового освещения по странам и континентам. В начале нашего века газовый рожок был окончательно вытеснен электрической лампочкой. Однако газовые заводы не закрылись, они даже увеличили свою продукцию. В 1982 г. во всем мире из угля было получено свыше 10 млрд. м³ светильного газа.

Население многих районов нашей страны, удаленных от месторождений природного газа, пользуется каменноугольным газом, который вырабатывают газовые заводы. Особенно там, где есть крупные залежи угля, — в Донбассе, Кузбассе и Караганде.

Газ — очень удобное и выгодное топливо: 100 м³ каменного газа заменяют 65 кг самого лучшего высокосортного угля, 130 кг сухих березовых дров или 45 кг нефти. Газ не коптит, не оставляет золы. Горение его легко регулировать, поддерживая нужную температуру.

Для сжигания твердого или жидкого топлива в топках заводских печей или котлов электростанций приходится подавать гораздо больше воздуха, чем нужно теоретически для полного сгорания. Это снижает температуру пламени.

Газ, сгорая, дает очень высокую температуру. В спе-

циальных газовых печах, называемых регенеративными, плавятся железо и сталь, даже платина.

Горючий газ можно получать не только при сухой перегонке угля в ретортах, но и при сжигании его в высоких цилиндрических печах — газогенераторах.

В настоящее время существуют газогенераторы различных конструкций. В них осуществляется газификация угля. В одних получают горючие газы и так называемые технологические газы (водород, оксид углерода, синтез-газ и др.) под давлением (метод Лурги), в других — без давления.

Когда уголь горит в топке или на колосниках заводской печи, горючее вещество угля — углерод соединяется с кислородом воздуха, образуя углекислый газ, который негорюч.

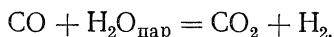
По-иному происходит горение угля в газогенераторе.

В газогенератор сверху через загрузочную воронку поступает уголь, а снизу под колосниковую решетку подается воздух. Шахта газогенератора довольно высока. Слой угля в ней достигает полутораметровой толщины. Поэтому только нижняя часть угольного слоя, которая находится на колосниках (зона горения), сгорает, выделяя углекислый газ. На это расходуется весь кислород, содержащийся в воздухе, поступающем в шахту.

Образовавшийся углекислый газ, поднимаясь вверх, нагревает куски угля почти до 1000°C . Нагретый до такой температуры уголь начинает соединяться с кислородом.

Но в верхней части газогенератора, называемой зоной восстановления, нет свободного кислорода. Он полностью израсходован в зоне горения. Поэтому углерод отнимает один атом кислорода у углекислого газа. Образуется новое вещество — оксид углерода CO , иначе называемый угарным газом.

Часть оксида углерода реагирует здесь с водяным паром, который образовался при сжигании угля в зоне горения за счет водорода, имевшегося в составе угля. Получаются снова водород и углекислый газ по реакции



При вдувании воздуха в газогенератор вместе с кислородом попадает и азот, которого в воздухе в четыре раза больше, чем кислорода. Азот не поддерживает жизни и горения (греч. *азоос* безжизненный) и сам не горит. В печи азот смешивается с оксидом углерода, водородом

дом и с непрореагировавшими с углем углекислотой и водяным паром. Эта смесь называется генераторным или воздушным газом. В ней около трети угарного газа, а остальное азот.

Прежде чем попасть к потребителю, смесь газов пропускают через зону сухой перегонки, где из угля выделяют летучие вещества. При этом газ обогащается тяжелыми углеводородами и метаном (который составляет основную массу природного горючего газа) с высокой теплотой сгорания. Заканчивается процесс газификации в газогенераторе, в зоне, где находится верхний слой угля, называемой зоной подсушки. Здесь газ, нагревая уголь, сам охлаждается и увлажняется.

Генераторный газ горит не таким ярким пламенем, как светильный или коксовый газ, и тепла дает меньше, чем они. Поэтому его часто называют «бедным» газом. Тем не менее им широко пользуются для нагревания плавильных печей на металлургических заводах.

Получение генераторного газа с низкой теплотой сгорания (3344—3762 Дж) гораздо проще, чем производство газов с высокой теплотой сгорания (20 900—37 620 Дж), и обходится намного дешевле — меньше капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Однако генераторный газ невыгодно транспортировать, а следует сжигать неподалеку от газогенераторных станций.

Но в газогенераторах можно получать и «богатый» газ. Если вместо воздуха пропускать через раскаленный уголь водяной пар, то в результате взаимодействия с ним углерода образуются водород и оксиды углерода CO и CO₂. Неразложившаяся часть водяного пара присоединяется к другим продуктам газификации и образуется водяной газ, состоящий из водорода, оксидов углерода и воды.

В техническом газе содержится еще 8—14 % азота, углекислоты и метана. При его сгорании выделяется почти в три раза больше тепла, чем при сгорании воздушного газа.

Водяной газ преимущественно используется для получения синтез-газа и водорода.

Производство водяного газа сложнее, чем воздушного, и осуществляется в газогенераторе в две стадии. Сначала вдувают воздух. Образовавшийся при горении угля углекислый газ выпускают в атмосферу. Затем на раскаленный уголь вместо воздуха подают водяной пар.

Начинается образование водяного газа, которое сопровождается поглощением тепла. Поэтому уголь быстро охлаждается. Для поддержания процесса приходится снова вдувать воздух. Для того чтобы уголь все время был раскаленным, чередуют воздушное и парообразное дутье.

Если под колосники газогенератора вдувать смесь пара с воздухом, то выделяется также горючий газ, но более бедный, чем водяной. В этом газе, называемом паровоздушным, много негорючего материала — азота и оксида углерода CO_2 . Им часто разбавляют более богатый природный газ. Такая смесь вполне пригодна для газификации квартир, а стоит дешевле, потому что паровоздушный газ можно получить из бурых низкосортных углей — канско-ачинских, экибастузских и др.

В последние годы в промышленности все шире применяется более эффективный метод непрерывного получения горючего газа из угля. Сквозь генератор пропускают смесь водяного пара с кислородом. При этом получается газ, в котором содержится почти вдвое больше оксида углерода CO , чем в водяном газе. Парокислородный газ, как его называют, почти не имеет азота и содержит кроме оксида углерода и водорода лишь незначительные количества уголекислоты и метана.

При непрерывной газификации, проводимой в тех же газогенераторах, в которых получают водяной газ, производительность повышается на 30—40 % по сравнению с периодической организацией процесса. К тому же можно получать синтез-газ для производства аммиака нужного качества.

В последние годы советскими учеными разработан еще более совершенный способ газификации угля с парокислородным дутьем — в «кипящем» слое под давлением. Основные его преимущества — очистка получаемых технологических газов от пыли и сернистых соединений, что предотвращает загрязнение окружающей среды. Производительность газогенератора возрастает в три—четыре раза, и значительно повышается общий энергетический коэффициент полезного действия самого процесса газификации.

Высокая степень очистки (95—97 %) от сернистых соединений, в частности от сероводорода, с помощью кусков железной руды позволяет использовать полученный газ на установках с газовыми турбинами.

При газификации канско-ачинских бурых углей с по-

мощью нового метода под давлением 1 МПа получали в зависимости от влажности и зольности угля газ с теплотой сгорания 5852—11704 Дж. Уже построена и осваивается опытная установка для получения водяного (энергетического) газа под давлением 3 МПа.

Газифицировать уголь в «кипящем» слое можно и при атмосферном давлении. Несмотря на то что получаемые при этом газы содержат мало метана и потому более пригодны для использования в химических производствах, способ имеет ряд недостатков. Унос угля газовым потоком достигает 20 %, применяемая аппаратура слишком громоздка, а возможности повышения производительности ограничены.

В последние годы все большее внимание специалистов привлекает подземная газификация углей. Для того чтобы превратить уголь в горючий газ в газогенераторах, необходимо затратить немало труда. Прежде всего, надо добыть уголь из недр, поднять его на поверхность земли, перевести на газовые заводы или газогенераторные станции. Здесь уголь необходимо раздробить на куски одинакового размера, отсортировать от пыли и мелочи.

А нельзя ли получить горючий газ непосредственно из подземного пласта угля, не поднимая его на поверхность? Как упростилось бы извлечение солнечной энергии, скрытой в угле.

Эту замечательную мысль впервые высказал великий русский химик Д. И. Менделеев.

ПЕРЕВОРОТ В ТЕХНИКЕ

Творчество Д. И. Менделеева многосторонне и многообразно. Петербургский профессор наряду с преподаванием и напряженной научной деятельностью в области чистой химии живо интересовался отечественной промышленностью, особенно нефтяной и угольной. Он ездил на Кавказ и в Донбасс, знакомился с техникой добычи нефти и угля. Побывав на донецких шахтах, Д. И. Менделеев окончательно убедился в возможности превращения под землей каменного угля в горючий газ.

В статье «Будущая сила, покоящаяся на берегах Донца» ученый писал: «Настанет, вероятно, со временем такая эпоха, что угля из земли выламывать не бу-

дут, а там, в земле, его сумеют превратить в горючие газы и их по трубам будут распределять на далекие расстояния»¹.

Сведения о грандиозных подземных пожарах, которые часто возникали в шахтах и уничтожали огромные запасы углей, еще более убедили Д. И. Менделеева в возможности промышленного получения горючих газов. Гениальный ученый со свойственным ему даром предвидения увидел в этом страшном бедствии путь, по которому в будущем возможно развитие промышленного получения горючих газов из угля.

«По поводу этих пожаров каменноугольных пластов мне кажется, — писал он, — что ими можно пользоваться, управляя ими и направляя дело так, чтобы горение происходило как в генераторе, то есть при малом доступе воздуха. Тогда должна происходить окись углерода и в пласте должен получаться «воздушный» или «генераторный газ».

Д. И. Менделеев предложил простой технический способ претворения своей идеи газификации в жизнь. «Пробурив в пласту несколько отверстий, — говорил он, — одно из них должно назначить для введения — даже вдувания — воздуха, другие для выхода — даже вытягивания (например, инжектором) — горючих газов, которые затем уже легко провести даже на далекие расстояния к печам»¹.

В течение многих лет Д. И. Менделеев настойчиво пропагандировал идею подземной газификации угля. В книгах и статьях он доказывал, что стоимость каменноугольного топлива станет в несколько раз ниже, если уголь под землей превращать в горючие газы.

Предлагая оригинальное техническое решение проблемы, он писал о том, что при распределении их затем по трубам не предвидится существенных трудностей.

Ученый считал, что такой метод пригоден для газификации не только донецких углей, но и низкосортных и бурых углей типа подмосковных, кизеловских (а также канско-ачинских. — *Б. Р.*). Кроме того, можно будет использовать тонкие пласты угля, которые невыгодно разрабатывать обычными способами. А таких пластов в недрах нашей страны довольно много.

¹ Менделеев Д. И. Собр. соч., т. 12, М. — Л., АН СССР, 1949, с. 542.

Великий ученый не раз обращался и к шахтовладельцам, и к промышленникам с предложением поставить хотя бы начальные опыты подземной газификации углей. Однако все его попытки оказались напрасными. Ни владельцы шахт, ни царские чиновники не поддерживали передовых начинаний Д. И. Менделеева.

Прошло почти четверть века — и во многих европейских газетах появилось сообщение, что с идеей подземной газификации углей выступил известный английский ученый Вильям Рамсей. В докладе на одном из заседаний Берлинской Академии наук он не только ратовал за скорейшее проведение опытов по превращению угля в газ под землей, но и ознакомил германских академиков с разработанным им техническим проектом.

В угольном пласте пробуривают скважины, располагая их в два или более ряда вдоль пласта. В них опускают широкие трубы, в которые вставляют одна в другую еще две более узкие трубы. После чего в предварительно зажженный пласт угля по одной из труб подают сжатый воздух, а по другой — водяной пар.

Горючий газ, образовавшийся в угольном пласте, пройдет по широкой трубе наверх и будет собираться в газгольдере.

Не только иностранные, но даже и некоторые русские газеты тогда рассматривали предложение Рамсея «как некое новое достижение Европы».

Талантливому английскому химика постигла судьба его русского коллеги. Проект был встречен капиталистами и шахтовладельцами также холодно.

Смелая идея двух великих химиков привлекла внимание В. И. Ленина, который, находясь в то время в эмиграции, внимательно следил не только за всеми политическими событиями, но и за развитием техники.

21 апреля 1913 г. в газете «Правда» была напечатана статья В. И. Ленина «Одна из великих побед техники». Разбирая подробно все выгоды и преимущества получения горючего газа непосредственно под землей, Владимир Ильич указывал: «Громадная масса человеческого труда, употребляемого теперь на добывание и развозку каменного угля, была бы сбережена. Использовать можно было бы даже наиболее бедные и неразрабатываемые ныне залежи каменного угля. Расходы на освещение и отопление домов понизились бы чрезвычайно.

Переворот в промышленности, вызванный этим открытием, будет огромен»¹.

Ленин прекрасно понимал, что в условиях капиталистического общества это замечательное открытие принесло бы народу больше вреда, чем пользы. Освобождение миллиона занятых на шахтах горнорабочих вызвало бы неизбежную массовую безработицу, породило рост нищеты, ухудшило положение рабочего класса. А огромные прибыли от этого выдающегося изобретения потекли бы в карман капиталистов.

Другое дело — при социализме. Это открытие позволит «... сразу сократить *для всех* рабочий день с 8 часов, к примеру, до 7, а то и меньше, — писал Ильич. — «Электрификация» всех фабрик и железных дорог сделает условия труда более гигиеничными, избавит миллионы рабочих от дыма, пыли и грязи, ускорит превращение грязных отвратительных мастерских в чистые, светлые, достойные человека лаборатории»¹.

Осуществление идеи двух выдающихся химиков стало возможным только в нашей стране после Великого Октября.

ПОДЗЕМНЫЙ ГАЗОГЕНЕРАТОР

В начале 1930 г. группа специалистов обратилась с письмом в ЦК ВКП(б) и Комитет по химизации СССР. Они просили приступить к организации исследований и опытных работ в области подземной газификации угля.

Несколько позднее с такой же просьбой обратилась группа научных работников Московского Горного института. Спустя два года специально организованная Комиссия по подземной газификации углей начала большую подготовительную работу для постановки опытов на угольных месторождениях.

В конце 1933 г. были заложены опытные шахты в Подмоскowie — Крутовская, в Донецком бассейне — Лисичанская.

Предполагали, что сжигать уголь в подземных условиях нужно так же, как и в обычных газогенераторах. Если в них воздух продувают через слой угля, состоя-

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 23, с. 94.

щий из кусков одинакового размера, то и под землей следует создать подобные условия.

В шахте в различных местах опытного участка заложили патроны с динамитом. Пласт окружили со всех сторон толстыми каменными стенами. С помощью стружек, щепок и дров, облитых керосином, разожгли угольный пласт и стали вдувать воздух. По мере горения угля патроны постепенно взрывались и дробили угольный пласт. Но оказалось, что уголь дробился неравномерно: куски получались то слишком крупными, то очень мелкими. Нагнетаемый воздух поступал не ко всем кускам угля.

Неудачи не смутили ученых, наоборот, они стали еще настойчивее добиваться решения поставленной задачи — создания «подземного газогенератора».

Нужно было разработать такие способы, которые отвечали бы особым условиям подземной газификации. Ведь при разработке конструкции «подземного генератора» нужно было учитывать состав угля, строение и мощность угольного пласта, его газопроницаемость и глубину залегания. Кроме того, нужны были и точные сведения о характеристике и свойствах пород, залегающих ниже и выше угольных пластов.

В 1933 г. был объявлен Всесоюзный конкурс на лучший способ получения газа из-под земли. В конкурсе участвовала группа молодых научных работников Донецкого углехимического института во главе с инженерами П. Д. Скафой, В. А. Матвеевым и Д. Г. Филипповым. Представленный ими проект получил высшую оценку и его авторы были удостоены Государственной премии СССР.

Теоретическими расчетами молодые ученые показали возможность получения газа непосредственно из угольного пласта без выламывания и дробления угля. Если поджечь пласт угля под землей и подавать с поверхности воздух так, чтобы он обтекал пласт со всех сторон, то получится как бы огромный «подземный генератор», в котором по мере выгорания пластов будет образовываться газ.

В конце того же года в Донбассе (Горловка) и в Кузбассе (Ленинск-Кузнецкий) начали работать опытные шахты по «поточному» методу газификации — так был назван способ, предложенный победителями конкурса.

В глубь шахты провели с поверхности два наклонных параллельных канала, в которые заложили трубы.

По одному из них нагнетали воздух, по другому отводили горячий газ на поверхность земли. Вертикальные ходы на известной глубине соединили горизонтальным коридором. В этой выработке, называемой «огневым штреком», уголь горел и образовывались газы.

Так впервые в истории мировой техники в Советском Союзе осуществили подземную газификацию угля.

Однако постройка станций подземной газификации очень трудоемка: нужно пробивать шахты, прокладывать соединительный штрек. Кроме того, этим методом выгодно разрабатывать только наклонные пласты каменного угля. В то же время имеется много горизонтально- и пологозалегающих пластов угля.

Необходимо было так организовать превращение угля в газ под землей, чтобы можно было его успешно осуществлять при любом угле падения пласта, отказавшись от дорогостоящих шахт и штреков.

Напряженная работа не пропала даром — в 1934 г. в Подмосковном бассейне начала работать по этому способу опытная станция.

После Великой Отечественной войны были построены две крупные станции подземной газификации, которые успешно работают и поныне — одна в Кузнецком бассейне (Южно-Абинская), другая в Узбекской ССР (Ангренская).

Среди станций подземной газификации Советского Союза есть одна особенная — Шатская под Москвой. Это предприятие нового типа. Угольный пласт, на котором построена станция, разделен прослойками пустой породы. Газ из зажженного угольного пласта идет к газовым турбинам, которые вращают электрический генератор. Потребитель сразу получает электрическую энергию.

Учеными разработаны несколько различных способов подземной газификации угля, которые дают возможность еще больше удешевить добычу газа и шире использовать малоценные пласты угля.

По одному из предложенных способов в угольном пласте под землей пробуривают несколько глубоких скважин. В центральную скважину вставляют обсадную трубу, а в остальные спускают торпеды с часовым механизмом. Затем скважины с торпедами закладывают пустой породой и плотно утрамбовывают.

Спустя некоторое время торпеды взрывают. Поскольку они кроме взрывчатки начинены еще веществом, ра-

створяющим уголь (например, антраценовым маслом, пиридином или анилином), растворитель за счет силы взрыва проникает глубоко в угольные толщи по микро-трещинам. Капли растворителя, распространяющиеся под большим давлением, словно миниатюрные топорики, откалывают мельчайшие частицы от пласта угля. Под действием растворителя уголь постепенно превращается в пасту. Поэтому у толстого слоя над угольным пластом не будет больше твердой опоры и он станет давить вниз с огромной силой. Паста, образовавшаяся в результате столь сильного давления, начинает подниматься вверх и фонтанировать через обсадную трубу в центральной скважине.

Такой способ подземной добычи угля имеет ряд значительных преимуществ перед другими: во много раз сокращается объем работ, отпадает необходимость в сооружении сложного шахтного хозяйства.

В Советском Союзе ежегодно получают с помощью подземной газификации более миллиарда кубометров газа.

На станциях подземной газификации угля можно выделить разные горючие газы. Если в скважину вместо воздуха вдувать водяной пар, то получается газ, пригодный для химической переработки. Если же пользоваться для дутья воздухом, обогащенным кислородом (65 %), то выделяется горючий газ с высокой теплотой сгорания (6688 Дж). Поэтому станции подземной газификации называют энергетическими или технологическими. На одних вырабатывают газ для электростанций, на других — для получения разнообразных химических продуктов.

На подземных станциях газификации угля уже вырабатывается горючий газ в довольно больших количествах, однако в их работе еще много недостатков. Все еще невысок химический и энергетический КПД газификации. Газ имеет низкую теплоту сгорания, и довольно высоки его потери в недрах (до 20 %).

У подземной газификации углей много преимуществ. Высвобождается огромное количество рабочих и материальных средств, затрачиваемых на добычу и перевозку угля. Подземный газ не требует дополнительной очистки, так как он почти не содержит сернистого газа. К тому же отпадает необходимость выемки большого объема пустой породы, на поверхности не образуются

огромные горы (терриконы), занимающие значительную площадь.

Для улучшения качества работы и большей эффективности получения газа из-под земли нужно преодолеть еще много трудностей. Необходимо изучить ряд вопросов, касающихся химической технологии топлива, разработать удобные способы бурения скважин для «огневых забоев», сконструировать новые механизмы, приборы, аппараты. Следует создать выгодную и эффективную систему управления всеми процессами добычи газа из-под земли на расстоянии.

Нет сомнения в том, что в недалеком будущем эти проблемы будут успешно решены нашими учеными и инженерами.



ИЗ КОРИЧНЕВОЙ
ШКАТУЛКИ

ГОРЯЩИЙ КАМЕНЬ

Каждый край, каждая область, каждая республика в нашей стране чем-нибудь знамениты. Урал славится металлом, Донбасс — углем, а Эстония — сланцами.

Сланец, принесший заслуженную славу маленькой республике на берегу Балтийского моря, был известен еще более двухсот лет назад. Народ называл его «пылевкиви» — горящий камень.

Почти двести лет назад известный русский путешественник и ученый Ю. Гильдентедт писал своим знакомым в Петербург, что он нашел в окрестностях Йыхве неподалеку от Кохтла-Ярве — современной столицы сланцевого царства — необычный камень, который может гореть.

В сухом виде сланец загорается даже от спички и горит длинным коптящим пламенем. За желтовато-коричневый цвет эстонские сланцы нередко называют «коричневым золотом».

Спустя четверть века сланцами заинтересовался другой русский ученый — академик И. Г. Георги. В своих трудах он отмечал, что Эстония обладает громадными запасами «горючей земли», которая со временем может найти широкое практическое применение. Рекомендую использовать горючие сланцы в качестве топлива, он впервые подробно описал условия их залегания в недрах эстонской земли.

Широко раскинулся на северо-запад европейской части СССР Эстонский сланцевый бассейн — главная со-

ставная часть Прибалтийского бассейна. Один из крупнейших в нашей стране, он простирается в пределы Ленинградской, Новгородской и Псковской областей. В Эстонии месторождения горючих сланцев расположены преимущественно на северо-востоке республики в Раквереском и Кохтла-Ярвском районах и занимают площадь свыше 4 тыс. км². Крупные залежи «коричневого золота» встречаются севернее и южнее железной дороги на участке Раквере — Нарва. На юге месторождения сланцев достигают берегов Чудского озера.

Условия залегания сланца в недрах Эстонии и мощность пластов горящего камня неодинаковы в разных частях сланцевого бассейна. Местами мощность пласта не превышает 0,7 м, а местами достигает 2 м. Неодинакова и глубина залегания. Вдоль железной дороги Таллин — Ленинград, например, сланец можно добывать открытым способом в карьерах, так близко его пласты подходят к земной поверхности. В то же время в районе Кохтла-Ярве основная часть пластов залегает на большой глубине, иногда до 60 м.

По подсчетам геологов, разведанные запасы эстонских сланцев уже превышают 20 млрд. т. Но поиск продолжается и, возможно, вскоре будут открыты новые месторождения.

Крупные сланцевые месторождения (их насчитывается уже 120) имеются и в других сланцевых бассейнах нашей Родины: Волжском — запасы которого 50 млрд. т, Якутском — 500 млрд. т, Тимано-Печорском. За последние 10—15 лет также подсчитаны запасы горючих сланцев в Юго-Восточном Казахстане (Кендерлыкское месторождение), на Украине (Балтышское), в Узбекской ССР (Байсунское).

Пока еще мало изучены залежи сланцев в Коми АССР, Мордовии, Чувашии, Белоруссии, Костромской и Саратовской областях, на Северном Кавказе, Сибири и Урале.

Из зарубежных стран самые богатые сланцами страны — США и КНР. Запасы полезного ископаемого в недрах этих стран оцениваются более, чем в 400 млрд. т. В Европе наиболее богата горючими сланцами Италия. Ее подземные кладовые хранят 100 млрд. т — 80 % всех европейских сланцевых запасов.

На других континентах сланцем богаты в Африке — Марокко, в Азии — Таиланд.

По данным американских ученых, в недрах нашей

планеты (без СССР) залежи сланцев превышают 1300 млрд. т.

Разведанные запасы горящего камня в Советском Союзе по последним подсчетам составляют около двух триллионов тонн. Они почти в два раза больше мировых. В нашей стране почти 75 % добываемого горящего камня извлекают из недр Эстонии.

Эстонский горючий сланец по многим своим качествам считается одним из лучших в мире. Это подтверждают результаты многочисленных химических анализов, а также долголетнее использование его в виде топлива и для химической переработки. Он был еще в прошлом веке назван академиком Ф. Б. Шмидтом кукерситом по названию местности (Кукрузе), где ученый брал образцы для анализа.

Подобно каменному углю, горючие сланцы очень древнего происхождения. Некоторые ученые определяют возраст эстонского «коричневого золота» в 400 млн. лет.

«Родители» каменного угля (всех его видов) — древние высшие растения, преимущественно деревья. Родословная сланцев скромнее: им дали «путевку в жизнь» низшие простейшие организмы — мельчайшие представители животного мира (фианктон) и микроскопические растения (фитопланктон), особенно сине-зеленые водоросли.

Родословная сланцев наложила отпечаток на их внешний вид и химический состав. Кусок сланца больше похож на слоеный пирог, чем на обычный камень. В нем явственно видны прослойки известняка. Число слоев различно. В промышленных образцах оно обычно больше шести.

Откуда же они появились в горящем камне. Долгое время это оставалось загадкой. Геологи, изучая процессы образования сланцев, разгадали ее.

Простейшие организмы, составляющие фитопланктон, «вылавливают» из воды мельчайшие крупинки кальция и кремния и строят из них свои внешние оболочки. Водоросли отмирают, падая на дно, и накапливаются там, образуя огромные толщи илов. Например, в Антарктике площадь, занятая планктоновыми илами, составляет несколько десятков миллионов квадратных километров (22 млн. км²), в Атлантическом океане — вдвое больше.

Вот потому-то в сланцах содержится до 70 % минеральных веществ — глинистых частиц и углекислого

кальция. Бóльшая часть органической (горючей) части состоит из полимеров и сложных нерастворимых соединений.

При сжигании сланца остается зола и выделяется углекислый газ, который образуется при окислении кислородом органических веществ и разложении карбоната кальция.

Горючие элементы сланцев (так же как каменного угля и нефти) — углерод и водород. Однако в них на каждый атом углерода приходится меньше атомов водорода, чем в нефти. Это во многом и определяет их теплоту сгорания, которую снижает и минеральная часть — балласт, как говорят производственники. Сланец будет обладать тем большей теплотой сгорания, чем меньше в нем будет нежелательного балласта. Но, поскольку нередко содержание балласта достигает 70 %, сланцы по теплоте сгорания уступают в три раза каменным углям и в четыре раза нефти.

Природа обидела горящий камень. Обделила его горючестью. По сравнению со своими «родственниками» — каменным углем и нефтью — сланец низкосортное топливо. Его невыгодно возить на далекие расстояния от места добычи. Однако, как подсчитали экономисты, вполне рентабельно пользоваться им неподалеку от залежей. И особенно там, где нет поблизости месторождений других горючих ископаемых.

Однако ни широкое распространение сланцев в недрах многих стран, ни относительная легкость их добычи, ни дешевизна не открыли им в свое время «зеленую улицу» в топки промышленных предприятий и электростанций. Прежде всего, повинны в этом их специфические свойства — значительно меньшее содержание горючего материала, чем в нефти или каменном угле, и очень высокая зольность. Другая причина заключается в том, что все тепловые устройства, которыми пользовались в промышленности для сжигания твердого или жидкого топлива, были непригодны для горения сланцев без того или иного изменения их конструкции.

Поэтому раньше промышленники за рубежом и в России не проявляли интереса к сланцам. Сырье долгое время не находило практического применения.

В течение почти двух столетий передовые ученые выступали с предложениями начать добычу кукурсита в Эстонии, где нет ни залежей каменного угля, ни месторождений нефти. Однако ни докладные записки в министер-

ства, в которых подчеркивалось важное перспективное значение использования горючих сланцев, ни обращения к частным промышленникам не имели успеха. Фабриканты и заводчики предпочитали покупать каменный уголь в Англии. В те времена кардифский уголь, доставляемый в Россию морем, стоил дешевле донецкого угля, к тому же он был гораздо лучше сланцев и по топливным характеристикам. Поэтому промышленники и не желали вкладывать капиталы в строительство шахт для добычи прибалтийских сланцев. Царские же чиновники, раболепствовавшие перед заграницей, тем более не считали нужным развивать горнодобывающую промышленность.

БОГАТЫРЬ НАБИРАЕТ СИЛУ

Но вот в 1914 г. вспыхнула первая мировая война, развязанная германскими империалистами. Немецкие подводные лодки шныряли по всем морям и океанам и безжалостно топили торговые суда, независимо от их принадлежности — воюющей или нейтральной стране.

Вскоре из-за морской блокады Балтийского моря, которая проводилась немцами особенно жестко, полностью прекратилось снабжение Петрограда английским каменным углем. Поставка же донецких углей также была связана с большими трудностями.

Топливный голод в столице, особенно обострившийся к концу войны, выдвинул необходимость спешного поиска заменителей угля — местных горючих ископаемых. Тогда-то и вспомнили о прибалтийских сланцах. Проверялись данные химических анализов образцов кукурсита, сделанные учеными еще в начале века, просматривались описания условий залегания сланцевых пластов в разных месторождениях, хранившиеся в архивах научных учреждений.

В 1916 г. в Петрограде было создано Особое Соединение по топливу, которое под руководством известного геолога и гидрогеолога профессора Н. Ф. Погребова возглавило исследовательские и опытные работы по изучению возможности использования прибалтийских сланцев как топлива. В них принимали активное участие сотрудники самых известных петроградских научных институтов, учреждений и высших учебных заведений — геологи, технологи, химики, теплотехники. Были поставлены опыты по сжиганию горючих сланцев на некоторых

крупных заводах — Ижорском, Металлическом и др., в которых приняли деятельное участие инженеры и рабочие этих предприятий.

Одновременно в районе деревни Ярве и имения Кохтла появились геологи. Не прошло и нескольких месяцев, как геологи обнаружили в этих местах громадные залежи «коричневого золота». Всего несколько десятков метров отделяли их от поверхности. Такие условия залегания пластов горящего камня требовали меньше средств для их разработки. Вслед за геологами пришли горняки и вскоре после непродолжительной опытной выемки в четырех километрах от нынешнего города Кохтла-Ярве, в деревне Кукрузе была заложена первая шахта¹. Одновременно производилась добыча сланца и открытым способом.

Одним из главных потребителей сланцев вскоре стали петроградские заводы. Уже в июне того же года в город на Неве были отправлены 22 вагона сланцев.

Спустя 50 лет — в 1966 г. — в Кохтла-Ярве на том самом месте, где были добыты отправленные в Петроград сланцы, был поставлен памятник — вагонетка, на которой их перевозили. По достоинству сланец оценили и железнодорожники, которые стали сжигать его вместо каменного угля в топках паровозов в Прибалтике.

Горящий камень заменил своего «родственника» — уголь в печах двух крупных эстонских цементных заводов («Пунанекунда», «Ассри»). А позднее его стали сжигать и на Таллинской электростанции.

В 1918 г. началась гражданская война. В Петрограде еще острее стала ощущаться нехватка топлива. Еще больше повысился интерес к горючим сланцам. Началась разработка сланцевых месторождений в Гдовском районе, неподалеку от города на Неве. И вот в 1919 г. была заложена первая шахта у станции Веймаарн Балтийской железной дороги. В. И. Ленин тогда всячески поддерживал развитие сланцевой промышленности, особенно добычу сланца под Петроградом. Академик И. М. Губкин впоследствии вспоминал: «Развитию сланцевого дела в Советской стране он помогал вплоть до своей смерти и защищал его всею силою своего авторитета».

Однако веймаарнский сланец добывался недолго. Почти восемь лет шахта затем бездействовала. Некоторые ученые выступили против использования сланца как топ-

¹ Добычей сланца занялась тогда частная фирма «Беккель и Ко».

лива. Они доказывали тогда, что предприятиям выгоднее работать на топливе с более высокой теплотой сгорания — нефти и угле.

Лишь в 1929 г. при поддержке С. М. Кирова возобновляются работы на этой шахте — и уже к концу года добыча сланца составила около 10 тыс. т. Спустя два года другая шахта, заложенная на Гдовском месторождении, выдала на-гора почти 40 тыс. т сланца. С тех пор добыча здесь горящего камня стала неуклонно расти. К началу Великой Отечественной войны она увеличилась более чем в десять раз.

Послевоенные годы принесли новые успехи гдовским сланцевикам. Были восстановлены затопленные и разрушенные во время войны шахты и заложены новые. Добыча сланца в настоящее время составляет более 5 млн. т в год.

В Эстонии добыча сланца продолжала увеличиваться и при буржуазном правительстве. Однако эстонская буржуазия была слишком слаба, чтобы самостоятельно разрабатывать природные богатства своей страны. И поэтому она охотно предоставляла иностранным капиталистам право добывать и перерабатывать сланцы, тем более что эстонские промышленники упорно не желали вкладывать капиталы в сланцевую промышленность.

Первыми в сланцевом бассейне появились немецкие капиталисты. Некоторое участие в эксплуатации сланцевых залежей принимали и английские монополии. В те годы было построено несколько шахт и карьеров для добычи сланцев открытым способом в Кивиыли, Кохтла-Ярве, Кохтла. В 1940 г. добыча «коричневого золота» достигла почти 2 млн. т.

В июне того же года в Эстонии произошли революционные события, которые привели к созданию нового правительства. Народ сверг эксплуататоров и установил свою власть. В августе делегация эстонского народа направились в Москву, чтобы ходатайствовать о приеме Советской Эстонии в Союз Советских Социалистических Республик.

К концу сентября были уже полностью национализированы все шахты и карьеры, где добывался сланец. В сланцевом крае началась новая жизнь.

Старые шахты были плохо оборудованы. По узким, темным коридорам лошади тянули вагонетки, груженные сланцем, к главному штреку.

На «вооружении» у шахтеров были тогда только лопата, кирка и пневматический бур. Сланец надо было вручную отсортировать от прослоек известняка и сложить полосами. Шахтер вручную подкатывал к камере пустую вагонетку, лопатой забрасывал в нее глыбы сланца и проталкивал ее после погрузки на откаточный штрек.

Теперь на шахты пришла новая техника. Еще в конце 1940 г. был разработан первый пятилетний план развития сланцевой промышленности, но вероломное нападение немецких фашистов на нашу страну задержало на несколько лет его осуществление. Только после окончания Великой Отечественной войны началось переоборудование старых шахт. Уже в 1948 г. выдала на-гора сланец шахта «Ахтме», а вслед за ней вошли в строй еще пять шахт.

Добыча «коричневого золота» механизирована. В камерах работают погрузочные машины. Взорванная горная масса с погрузчика попадает сначала на скребковый конвейер, затем на ленту другого конвейера, который несет ее к вагонеткам. Работать на шахтах стало теперь гораздо легче. Высокая механизация, новые передовые способы добычи, содружество производителей с учеными помогли горнякам резко повысить производительность труда.

Если в буржуазной Эстонии шахтер вырабатывал в месяц 27—28 т сланца, то теперь в шахтах, где выемку пласта производят комбайны, добыча достигает 30 т в смену.

В ближайшие годы комбайн станет надежным помощником горняков на многих шахтах.

Плоды механизации хорошо заметны и на разрезах, где с каждым годом добыча сланцев все увеличивается. На эстонских разрезах «Вивиконд», «Сиргала», «Нарвский» и др. успешно работают мощные драглайны, экскаваторы, механические лопаты и бульдозеры.

За годы пятилеток добыча горящего камня в Эстонии возросла более чем в пятнадцать раз.

Раньше всех в нашей стране стали добывать сланец волжане — еще в 60-х годах прошлого столетия на Кашпирском месторождении. Однако добыли немного и вскоре прекратили разработку месторождения. Прошло более полувека и в разгар гражданской войны, в 1919 г., вспомнили о кашпирских сланцах. Вновь начались горные работы. Однако прошло более десяти лет, прежде чем в эксплуатацию была сдана (в 1932 г.) шахта № 1. Ежегодно там добывали до 500 тыс. т горящего камня

(до 1969 г.). В 50-х годах построили еще две шахты, на которых теперь добывают около 1 млн. т сланца.

Но по-прежнему лидирует Прибалтийский сланцевый бассейн, в котором добывается почти 97 % «коричневого золота», извлекаемого из недр Советского Союза.

В СОЮЗЕ С ХИМИЕЙ

Уже в первые годы Советской власти наряду с непосредственным сжиганием сланцев в топках котельных и паровозов возникло стремление шире использовать продукты химической переработки сланцев.

Еще в 1913 г. профессор С. А. Фокин, опубликовавший большую работу, посвященную залеганию прибалтийских сланцев, их химическим свойствам и продуктам термического разложения, давал ценные рекомендации по переработке горящего камня. Однако в то время они не нашли практического применения.

В двадцатые годы эта проблема заинтересовала многих советских ученых. Обширные и плодотворные исследования проводились сразу в трех крупнейших ленинградских институтах — Политехническом, Технологическом и Государственном институте прикладной химии. Большие работы проводились тогда также и в Москве.

Сланцы — ближайшие «родственники» каменного угля. До сих пор их нередко называют многозольными углями. Следовательно, из сланцев можно получить смолу и другие ценные химические продукты. И выделить их, видимо, можно не сжигая сланцы, а нагревая без доступа воздуха.

Опыты подтвердили правильность подобных предположений.

При сухой перегонке сланцев, как только столбик термометра поднимается до 170—180 °С, начинается термическое разложение, горящий камень изменяет внешний вид. При дальнейшем нагревании (270—290 °С) он теряет всю влагу. Когда же отметка на шкале термометра достигает 325—350 °С, начинается обильное выделение газов и смолы. При дальнейшем повышении температуры до 500—550 °С оно полностью прекращается. Разложение сланца в основном заканчивается уже при 450 °С. Кроме смолы и горючего газа получается еще твердый черный остаток — полукокс. Перегонка сланца при таких температурах называется полукоксованием.

Многочисленные химические анализы продуктов раз-

ложения сланца при сухой перегонке обнаружили в составе выделяющихся газов водород, метан, бутан, углекислый газ и оксид углерода. В летучих же продуктах, получаемых при нагревании сланца без доступа воздуха, содержатся также смола и вода.

Какие же химические реакции происходят при подобной переработке сланцев? На этот вопрос химики также дали исчерпывающий ответ.

Органическое вещество горящего камня (кероген) представляет собой большую сетку, точнее, — довольно однородную большую молекулу — полимер. При нагревании она раскалывается на части — образуются осколки разных размеров. Мелкие осколки входят в состав газов и паров, крупные — образуют смолы и полукоксы.

Крупные обломки макромолекулы керогена, которые образовались на первичной стадии разложения сланца, обладают большой химической активностью, часть из них вступает во взаимодействие и образует более крупные по размерам молекулы. Они к тому же обладают более высокой термостабильностью, т. е. не распадаются при этой температуре. Поэтому на последующей стадии полукоксования разлагаются преимущественно не первичные осколки макромолекулы керогена, а новые молекулы, которые «родились» в начале нагревания сланца.

Каков же механизм дальнейших превращений молекул или их осколков при дальнейшем повышении температуры? Он очень сложен и пока еще ученые не в состоянии дать его полную характеристику. Не установлены до сих пор важнейшие теоретические закономерности процесса. Одно можно сказать — основные продукты термического разложения — газ, вода, смола — образуются взаимосвязанно и одновременно, причем активную роль играют процессы не только распада, но и уплотнения молекул.

При сухой перегонке сланцев получается не более 18—20 % сланцевой смолы (40—60 % его органической массы). Выход смолы зависит от применяемых для термического разложения способов, а также от качества и подготовки сланца. Количество жидкого топлива и других ценных продуктов, получаемых из смол, зависит во многом от вида и происхождения сланца.

Изучая сланцевую смолу, исследователи установили, что это смесь различных органических соединений. Среди них много разных углеводов — предельных, непредельных, ароматических, а также веществ, которые в

своих молекулах кроме атомов водорода и углерода содержат еще и атомы кислорода: фенолов, эфиров, альдегидов. Есть в смоле и небольшая примесь азотистых и сернистых соединений.

Поскольку сланцевая смола по химическому составу во многом напоминает каменноугольную смолу (все-таки «родственница»), у изобретателей и химиков уже в середине прошлого века возникла мысль получить из нее «горючее масло» — жидкое топливо. Такую попытку сделал еще в 1838 г. русский академик Г. П. Гельмерсен, проводивший опыты с кукерситом и нефтью.

Смолу подвергали (как и нефть) перегонке при разных температурах. Ведь это гораздо выгоднее, чем просто сжигать ее вместо нефти. Да и нефть не следует сжигать, а лучше подвергать перегонке и химической переработке. Экономический эффект ее использования будет во много раз выше.

Та часть (фракция) сланцевой смолы, которая кипит при 175—180 °С, — хороший бензин для автомобилей. Та же фракция, которая выделяется при 165 °С, — это еще лучшее моторное топливо (авиационный бензин). Бензины различных сортов, получаемые из недр горящего камня, после обработки их кислотой или щелочью не уступают по своим качествам нефтяным «собратьям».

При температуре 175—225 °С получают лигроин (тракторное топливо), а если повысить температуру перегонки на 100 °С (225—325 °С), то выделяется еще одна высококипящая фракция — дизельное топливо.

Не пропадает и остаток перегонки — более густая жидкость. Она идет в топки паровых котлов и используется для приготовления битумов, применяемых в строительстве шоссейных дорог, а также для «одежды» улиц и площадей в городах и поселках. Потребность народного хозяйства в битумах растет с каждым годом — и поэтому большая часть смоляных остатков перерабатывается в битумы.

Между тем этот вид жидкого топлива превосходит мазут, получаемый из нефти и сжигаемый в дизельных двигателях на теплоходах и военных кораблях. Сланцевый мазут застывает при более низкой температуре. Поэтому его удобнее сливать и перекачивать даже в холодное время года. У этой густой темно-коричневой жидкости есть еще одно большое преимущество. Она не содержит вредных примесей, из-за которых часто ржавеют металлические части газовых турбин и двигателей.

Советские ученые, исследовавшие прибалтийские, и частично кашпирские сланцы, сразу столкнулись с рядом трудностей. Правда, в какой-то степени уже были известны процессы, которые происходят при нагревании сланцев без доступа воздуха. В научных журналах были описаны и продукты, образующиеся при их термическом разложении. Однако в литературе, посвященной изучению переработки горючих сланцев (а также их происхождению, условиям залегания и т. п.), полностью отсутствовали систематические данные о производстве жидких топлив. Не было и сведений об их физико-химических и технологических свойствах.

В дореволюционной России не было сланцевой промышленности, а следовательно, опыта использования сланцев. Невелик был и зарубежный опыт производства жидкого топлива из горящего камня, хотя первые попытки его промышленной переработки с этой целью были сделаны в ряде европейских стран — Франции, Шотландии, Швеции, Германии, Австрии еще в 30-х годах прошлого столетия. Так, во французском городке Аутуна в 1835 г. на заводе фирмы «Лорен» из сланцевой смолы получали керосин. Спустя пятнадцать лет появились сланцеперегонные предприятия в городе Бадгейте (Шотландия), на которых вырабатывали керосин и смазочные масла. В 70-х годах прошлого века переработкой сланцев заинтересовались и в США, где было построено несколько небольших заводов для производства смолы из сланцев и для ее перегонки. В некоторых странах такие заводики росли как грибы — в 1865 г. в Англии их насчитывалось свыше 120.

В дальнейшем переработка горящего камня то возрастала, то падала. Находившаяся еще в младенческом возрасте нефтехимическая промышленность все больше набирала силу. Появление дешевых нефтепродуктов сразу же отразилось на развитии сланцеперегонной промышленности. Рост производства искусственного жидкого топлива целиком в те годы зависел от добычи нефти. Чем больше нефти добывалось и поступало на международные рынки, чем дешевле она обходилась потребителям, тем меньше было охотников покупать жидкое топливо, получаемое из сланцев.

Начиная с середины 80-х годов прошлого века, когда русская нефть широким потоком потекла в зарубежные страны, сланцеперегонные заводы влачили там жалкое существование. Более мелкие предприятия, не выдержи-

вая конкуренции с нефтью, закрывались, более крупные сокращали выпуск продукции.

Неоднократное изменение политической обстановки в мире — возникновение либо окончание войны — вызывало или появление новых предприятий по производству искусственного жидкого топлива из сланцев, или их закрытие. Так, в Швейцарии, лишенной во время первой мировой войны подвоза нефти из-за морской блокады, организованной немцами, было налажено в небольшом масштабе производство моторного топлива из горючих сланцев. В отличие от обычных методов их нагрева для переработки была использована дешевая электроэнергия.

Потребовалось почти столетие, прежде чем из эстонского горящего камня стали на заводах извлекать смолу и перерабатывать ее на жидкое топливо. В 1922 г. в Кохтла-Ярве был построен небольшой завод, на котором перерабатывали примерно 1000 т сланца в месяц. Спустя несколько лет появилось еще несколько более крупных заводов, но сланцеперегонная промышленность развивалась очень медленно.

Сланцеперерабатывающие заводы преимущественно старались оснащать наиболее производительным оборудованием, способным эффективно перерабатывать сланец.

В 1927 г. в Кивиыли эстонцы построили на сланцеперегонном заводе туннельную печь, в которой сухой перегонке подвергалось 75 т горящего камня в сутки. Через год в Салламяэ шведской фирмой была построена печь, пропускная способность которой была в четыре раза больше.

Длинный печной канал, который вмещает двадцать вагонеток, разделен подъемными дверями на ряд камер и отсеков. Каждый из них имеет свое название и назначение. Сначала вагонетка, груженная сланцем, попадает в камеру подсушки. Сланец продувается струей горячего водяного пара и из него удаляется влага. Затем вагонетка передвигается в камеру перегонки, где ее содержимое нагревается до 500 °С. Здесь из сланца извлекают смолу и газ. Парогазовая смесь поступает в сборники и отстойники, где она охлаждается. Горючий газ (полукоксовый), отделяемый от смолы после очистки, возвращают в печь и сжигают.

Оставшийся в вагонетке после удаления смолы и газа полукокс заливают водой в камере тушения. Если этого не сделать, то он загорится, выйдя из печи.

Каждые 6—8 мин из печи выходит одна вагонетка с полукоксом, а с противоположного конца печи выходит другая вагонетка, нагруженная 2,5 т сланца. Такие печи теперь уже более не эксплуатируются на сланцеперегонных заводах.

Первые шахтные генераторы, освоенные на сланцеперерабатывающем комбинате в Кохтла-Ярве в 20-х годах производительностью 35—40 т в сутки, были заменены в послевоенный период более мощными производительностью 100 т в сутки. В настоящее время там внедрены генераторы с центральным вводом — огромные цилиндры, внутри которых расположено топочное устройство, куда поступают воздух и обратный газ для получения дополнительного теплоносителя. В них можно перерабатывать 185 т сланца в сутки. Выход технической смолы (на рабочий сланец) повысился до 16,5 % вместо 11—15 %, полученных ранее. Увеличилось и годовое производство смолы в расчете на одного рабочего — до 1200 т.

В ближайшем будущем на заводах в городах Сланцы и Кохтла-Ярве появятся разработанные советскими конструкторами еще более совершенные и мощные газогенераторы — автоматизированные агрегаты с суточной производительностью 500—1000 т.

КРУПНЕЙШИЙ УСПЕХ СЛАНЦЕВИКОВ

Сланцевикам-первопроходцам приходилось преодолевать много трудностей. Одна из них заключалась в том, что некоторые ученые развивали неправильные представления о горючих сланцах.

Поскольку они близкие «родственники» нефти, то особых различий в их химии и технологии нет. По мнению этих ученых, сланцевую смолу следует рассматривать как нечто подобное нефтяным продуктам, а потому для ее исследования и переработки не нужны какие-то новые, оригинальные методы. Вполне пригодны с некоторыми изменениями способы, применяемые в нефтехимической промышленности.

Сторонники таких взглядов опирались на опыт переработки французских и шотландских сланцев, из которых еще в прошлом веке получали осветительный керосин и смазочные масла. Действительно, в обширной семье сланцев есть и такие, из которых при перегонке можно получить вещества, очень близкие по химическому составу к нефти или к продуктам ее переработки.

Иное дело — смола прибалтийского горящего камня. В ее основе преобладают не углеводороды, а различные органические вещества, в молекулах которых наряду с водородом и углеродом содержатся кислород и другие химические элементы. Эти соединения имеют особенности, отличающие их от углеводородов, играющих главную

роль в нефти. Потому стремление некоторых ученых применить для переработки кукерсита или гдовского сланца общие методы, используемые при переработке углеводов, было неоправданным и не дало эффективных результатов.

Однако подобные взгляды сильно тормозили исследования и разработку правильных методов получения моторного топлива из сланцевых смол. Большинство соединений, содержащихся в смолах, в то время были еще мало изучены. Одна из главных задач, которую предстояло решить исследователям и инженерам, — разделить смолу и продукты ее перегонки на основные компоненты, а эти отдельные группы использовать соответственно их химической природе. Другой путь решения поставленной задачи заключался в том, чтобы создать достаточной эффективный метод химического воздействия, который позволил бы все многообразие соединений, составляющих смолу, свести к нескольким близким по составу химическим типам.

Несмотря на все трудности, советским исследователям удалось разработать некоторые методы получения жидкого топлива из сланцевой смолы по обоим направлениям.

Работа сланцевиков получила тогда высокую оценку В. И. Ленина. В 1922 г. он направил в Президиум ВСНХ письмо:

«Тов. Красин... сообщает о крупнейших успехах группы инженеров во главе с тов. Губкиным, которая с упорством, приближающимся к героическому, и при ничтожной поддержке со стороны государственных органов, из ничего развила не только обстоятельное научное исследование горючих сланцев и сапропеля, но и научилась практически готовить из этих ископаемых различные полезные продукты, как-то: ихтиол, черный лак, различные мыла, парафины, сернокислый аммоний и т. д.

Ввиду того что эти работы, по свидетельству т. Красина, являются прочной основой промышленности, которая через десяток, другой лет будет давать России сотни миллионов, я предлагаю:

1. Немедленно обеспечить в финансовом отношении дальнейшее развитие этих работ.

2. Устранить и впредь устранять всяческие препятствия, тормозящие их...»¹

Несмотря на большой интерес, который проявляла к

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 45, с. 224.

горючим сланцам научная и техническая общественность, и то большое значение, которое придавали получению моторного топлива из сланцев партия и правительство, результаты проведенных исследований в тот период не были практически использованы.

Советская Россия очень нуждалась в моторном топливе; ведь почти все нефтяные районы были заняты интервентами или же были выведены из строя. Однако построить большой завод для переработки сланцев в период, когда страна была занята ликвидацией последствий хозяйственной разрухи не было никакой возможности. Не было опытных кадров рабочих и инженеров, нехватало финансовых средств для необходимых крупных капитальных затрат. Один небольшой завод в районе Осташкова наладил производство ихтиола — медицинского препарата.

К НОВОМУ ПОДЪЕМУ

В 1929—1930 гг. вновь возникает повышенный интерес к использованию сланцев.

Если в 1916—1927 гг. была сделана как бы глубокая разведка в области сланцевой технологии—горной, теплотехнической и химической, то начиная с указанного периода закладывается фундамент современного здания сланцевой промышленности во всех ее направлениях. Об этом писал один из старейших сланцевиков, профессор Н. И. Зеленин.

Было принято решение в короткие сроки построить в районе месторождений гдовских сланцев заводы по производству жидкого топлива и других химических продуктов. В Ленинграде началась подготовка технологических процессов для будущих производств. Велась она очень быстрыми темпами.

В середине 1932 г. когда сланцы на Гдовском опытном руднике стали добывать в промышленном масштабе, в Ленинградском филиале Сланцевого института начались широкие исследования образцов горящего камня, присланных из рудника.

Для того чтобы успешно проводить исследования, необходимо было построить новые лабораторные корпуса, оборудовать их необходимыми приборами. Кроме того, нужно было построить ряд опытных установок. И все это важно было сделать как можно быстрее. Ведь стране требовалось с каждым годом все больше жидкого

топлива, особенно Ленинграду, удаленному на значительные расстояния от районов, где добывают нефть и уголь. Коллектив института успешно справился с поставленной задачей.

Даже сегодня, когда мы располагаем значительно более совершенной строительной техникой, широким ассортиментом разнообразных машин и механизмов, можно только удивляться тем быстрым темпам, которыми была создана опытная база при ленинградском отделении института — Ленинградский опытный сланцеперерабатывающий завод (ЛОСПЗ). Потребовалось всего два-три года, чтобы построить и ввести в эксплуатацию многочисленные установки разных назначений.

Были построены камерная и туннельная печи, сооружены битумная и гидрогенизационная установки, опытная топка и генератор с жидким шлакоудалением. В составе опытного завода был создан также цех для получения бензина и дизельного топлива.

Проведенные на них испытания дали обильный экспериментальный материал, который послужил в дальнейшем основой для проектирования будущих сланцеперегонных предприятий и налаживания на них переработки сланцев и сланцевых смол на жидкое и другие виды топлива.

Из сланцевой смолы получают битум, шпалопропиточное масло, куперсол, лак — прекрасный заменитель натуральной олифы для грунтовки под краски темных тонов, мягчитель для очистки жесткой воды от кальциевых и магниевых солей, синтетические дубители для кож, сульфанола — основу стиральных порошков, электродный кокс и др. В настоящее время вырабатывается уже свыше 35 наименований.

Большое внимание исследователи уделяли очистке сланцевого бензина от сернистых соединений, поскольку их избыток против допускаемого стандартом количества значительно ухудшает качество жидкого топлива. Применение для этой цели серной кислоты на сланцеперегонных заводах имело ряд существенных недостатков (большие потери и значительный расход кислоты и едкого натра, недостаточно высокое качество продуктов).

Хорошо известно, что катализаторы во многих химических производствах способствуют ускорению технологических процессов и улучшению качества продукции. Поэтому ленинградские сланцевики изучали различные термические превращения сланцевых смол над различными катализаторами — хлористым цинком, хлористым алюминием, активной глиной. Несмотря на ряд преимуществ по сравнению с очисткой серной кислотой (содер-

жание серы уменьшается до 0,1 %, нет потерь сырья) — каталитическая очистка не нашла тогда себе практического применения.

Значительно успешнее оказались результаты работ, проведенных несколько позднее в ЛенВНИГИ¹ по гидроочистке (гидрогенизации) бензинов и смол от серы. В лаборатории высоких давлений института была сооружена крупная опытная установка, на которой получили из гдовских сланцев сланцевый бензин нескольких сортов, вполне удовлетворяющих требованиям тогдашних ГОСТов. Они прекрасно выдержали испытания в автомобилях, участвовавших в автопробеге Ленинград — Москва.

Давно было известно, что детонация — грозный враг автомобильных моторов и двигателей внутреннего сгорания. Оценка качества бензинов производится по их «выносливости» к детонации. Группа сотрудников ЛенВНИГИ приготовила из некоторых органических веществ, входящих в состав сланцевой смолы (фенолов), хорошие антидетонаторы для бензинов. Небольшие их добавки значительно улучшали качество сланцевого жидкого топлива.

Немало работали тогда ученые-сланцевики и над созданием промышленных агрегатов новых типов (например, газогенераторов с жидким шлакоудалением) и печей.

Научные разработки сотрудников института по химической переработке сланцев и данные, полученные на опытном заводе по эксплуатации туннельной печи и другого оборудования, позволили спроектировать 500-тонную печь для нового битумного сланцеперегонного завода, строительство которого было начато в 1936 г. в городе Сланцы, около Гдова. По проекту завод должен был вырабатывать до 40 тыс. т битума для дорожных покрытий Ленинградской области и максимально возможное количество бензина и дизельного топлива.

В основу проекта были положены результаты лабораторных и опытно-промышленных исследований по полукоксованию сланцев, проведенных в Институте горючих ископаемых.

Не случайно проектировщики особое внимание уде-

¹ В 1934 г. главный штаб сланцевой науки был вновь реорганизован. На базе его был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт газа и искусственного жидкого топлива (ВНИГИ).

ляли разработке конструкции туннельной печи. Именно она являлась главным агрегатом, который в те времена мог обеспечить получение светлых моторных топлив (бензинов), потому что получить их в обычных газогенераторах было невозможно.

Однако, несмотря на явные технологические преимущества туннельных печей, построить их в 1936 г. нашей промышленности было еще не по силам. Поэтому было принято решение ввиду срочного пуска завода в городе Сланцы в самые короткие сроки разработать конструкцию оригинальной шахтной печи. Спустя три года на площадке будущего сланцеперегонного завода была сооружена опытно-промышленная установка. Новая трехзонная шахтная печь по техническим показателям несколько уступала туннельной, но превосходила показатели газогенераторной печи того времени.

В печи нагревание циркулирующего газа полукоксования осуществляется в поверхностном нагревателе — калорифере, охлаждение полукокса производится в газовом цикле, что дает возможность использовать его физическое тепло. Сланец перед введением в печь предварительно подсушивается, что было новшеством. Это уменьшает расход тепла на дальнейший процесс.

По проекту на будущем заводе должны были быть двойные печи производительностью до 250 т сланца в сутки. Предполагалось также построить трехзонные газогенераторы для пополнения расхода газа при обогреве калориферов и зон сушки печей. Завод должен был уже в 1942 г. выдавать продукцию — битум для дорожных покрытий, искусственное жидкое топливо. Однако вторжение 22 июня 1941 г. в нашу страну немецко-фашистских войск нарушило эти планы. За время войны все заводские корпуса, электростанции, административные здания и жилые дома были полностью разрушены. Сохранились лишь дороги, подземные коммуникации и обгорелые стены.

При проектировании завода предусматривалась и возможность выработки значительных количеств горючего газа из сланцев.

ГОРЯТ ГОЛУБЫЕ ОГНИ

Если нагреть сланец до 800—1000 °С (без доступа воздуха), то можно удалить из него все летучие вещества и получить из 1 т сырья 5000 м³ горючего газа и лишь

10—15 кг смолы. Образующийся при такой высокотемпературной переработке (термическом разложении) остаток называется сланцевым коксом, а процесс — коксованием сланца. Горючий газ при такой перегонке имеет теплоту сгорания около 18 810 Дж. Его можно, как и газ, получаемый из каменного угля, использовать для нагревания в кухонных плитах и отопления.

Еще во время первой мировой войны (1914—1918 гг.) в связи с прекращением доставки в Петроград газовых углей профессор Вальгис провел ряд опытов с эстонскими сланцами на газовом заводе Политехнического института. При нагревании в реторте он получил из 1 т сырья 200 м³ горючего газа с теплотой сгорания 21 234,4 Дж.

Окрыленный успехом, Вальгис опубликовал в 1917 г. в Бюллетене Комитета военной технической помощи обстоятельную статью, а позднее — в 1920 г. и отдельную книгу, в которых рассматривал газификацию прибалтийских сланцев как основной источник снабжения Петрограда газом. Он горячо ратовал за быстрейшую реализацию своей идеи и не видел особых практических трудностей в ее осуществлении, хотя опыты производились в малых ретортах (100 г сланца). Видимо, ученый по результатам таких опытов не мог правильно оценить возможные трудности при газификации сырья, в котором содержится так много золы.

Однако исследования Вальгиса не остались без внимания. Партия поддержала эту идею и способствовала превращению ее в жизнь.

В январе 1934 г. на XVII съезде ВКП(б) выступил С. М. Киров, который сказал, что гдовские сланцы могут дать очень богатый, высококалорийный газ, который может быть использован для металлургии железа. Помимо этого предполагалось использовать горючий сланец как один из крупнейших энергоресурсов и направлений газификации также в Ленинграде.

Выступление С. М. Кирова встретило горячее одобрение делегатов партийного съезда. Единодушно было принято решение о развертывании работ по газификации горючих сланцев и строительству торфяных и сланцевых предприятий.

Сланцевики энергично взялись за разработку новых методов и оборудования для газификации сланцев, так как для получения газа в промышленном масштабе зола была вредной примесью. Труды их вскоре увенчались

заслуженным успехом. Наиболее удачной оказалась трехкамерная печь, сконструированная Л. С. Заглодиным и В. И. Жунко. В 1934—1937 гг. она была испытана на Ленинградском опытном сланцеперерабатывающем заводе. Позднее такие печи стали широко применяться на сланцеперерабатывающих заводах для газификации сланца.

Камерные печи напоминают печи для коксования угля. Сланец загружают в высокую узкую камеру. В стенах камеры проложены (устроены) вертикальные каналы, в которых сжигается газ, получаемый из сланца. Тепло сгораемого газа нагревает сланец, который под действием собственной массы опускается вниз камеры. Выделяющийся при нагревании сланцевый газ непрерывно выводится из печи. Образующийся в процессе перегонки кокс удаляется снизу, а сверху загружаются свежие порции сланца.

После войны было принято решение газифицировать все квартиры в Ленинграде и подавать газ на ленинградские промышленные предприятия. Город должен был получать 3,5 млн. м³ газа в сутки. Поставщиками бытового газа стали заводы в городах Сланцы и Кохтла-Ярве. Эстонский сланцевый газ пошел по газопроводу длиной почти в 240 км в город на Неве. До 1959 г. Ленинград снабжался исключительно газом из сланцев Прибалтики и Ленинградской области (позднее стал поступать саратовский газ). Он заменял ежегодно свыше 3 млн. м³ дров и более чем 250 тыс. т нефти.

Для того чтобы перевести такое количество топлива, потребовалось бы 160 железнодорожных составов по 100 вагонов и цистерн.

В первой послевоенной пятилетке для лучшего обеспечения использования горючих сланцев с целью снабжения бытовым газом и жидким искусственным топливом Северо-Запада нашей страны была создана при ЦК ВКП(б) особая комиссия, председателем которой был назначен А. А. Жданов. Комиссия разработала обширную программу по переработке эстонских и латвийских сланцев на газ и моторное топливо. Тогда же было принято решение объединить в одном научном центре все исследования по сланцам, которые велись в Москве, Ленинграде и некоторых других городах. Был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт по переработке сланцев (ВНИИПС). Его сотрудники стали премниками всех работ ленинградских сланцевиков. Ему

и было суждено сыграть решающую роль в переоборудовании разрушенных во время Великой Отечественной войны сланцеперегонных заводов и в дальнейшем успешном развитии этой отрасли промышленности.

Почти до середины 60-х годов на заводах стремились получать как можно больше газа и жидких топлив из сланца (топочного мазута, бензина, лигроина). Еще до 1968 г. они составляли почти половину выпускаемой сланцевой промышленностью продукции.

Значительное расширение добычи природного газа и нефти, постройка газопровода Саратов — Москва, Саратов — Ленинград в конце 50-х годов способствовали уменьшению производства бытового газа и жидких топлив, которое продолжало все больше снижаться в последующие годы. В 1970 г. эти продукты составляли 35,4 % товарной продукции, а в 1977 г. — всего лишь 15,4 %, причем производство топочного мазута уменьшилось в три раза.

Причина перехода к расширению выпуска других продуктов переработки сланцевой смолы — чисто экономическая. В настоящее время производство топливного газа из прибалтийских сланцев в камерных печах убыточно.

Камерные печи заменят мощные сланцевые газогенераторы (один из таких генераторов производительностью 1000 т газа в сутки уже построен в производственном объединении «Сланцехим» им. В. И. Ленина в Коктла-Ярве).

Переход на выпуск более прибыльной и весьма необходимой народному хозяйству продукции — масла для пропитки древесины, различные мастики, химико-мелиоративные препараты и др. — одновременно позволит гораздо полнее использовать ценные органические вещества, содержащиеся в сланцах.

С 1976 г. в Институте горючих ископаемых исследуется термическое растворение сланцев. Недавно разработана оригинальная технология процесса переработки сланцев, которая проводится при температуре 400—420 °С и давлении 3—5 МПа. При этом основным продуктом является высококипящий экстракт, содержащий нерастворившиеся органические вещества и минеральную часть сланца.

По заключению кафедры искусственного жидкого топлива Ленинградского технологического института им. Ленсовета, где уже более пятнадцати лет проводят-

ся исследования по термической переработке сланцев, этот экстракт может применяться в производстве пластмасс и в дорожном строительстве.

Сотрудниками Сланцевого института и Института химии АН Эстонской ССР в Таллине за последние две пятилетки разработаны ряд методов более глубокой переработки сланцевой смолы, которые дают возможность получить много разных углеводов для синтеза пластмасс, новых красок и лаков, поверхностно-активных веществ.

Новое направление в развитии сланцевой промышленности позволит уменьшить загрязнение окружающей среды, благодаря оснащению заводов современным более совершенным оборудованием, повысить эффективность использования сланцевой смолы и поднять производительность труда.

НА ЗЕМЛЕ И ПОД ЗЕМЛЕЙ

В настоящее время заводы по производству сланцевого бензина и котельного топлива есть только в Советском Союзе и Китае. Однако во многих странах — Австралии, Великобритании, Бразилии, Марокко, США и Югославии — уже более двадцати лет широким фронтом ведутся научные исследования и опытно-промышленные разработки различных способов переработки сланцев в жидкое топливо.

Особенно интенсивно они стали проводиться после 1973 г. Были разработаны десятки проектов строительства промышленных предприятий, на которых можно было бы получить жидкое топливо из сланца по цене не дороже природной нефти.

Некоторые зарубежные специалисты оценивают разведанные запасы сланцев, из которых может быть получена синтетическая нефть, в 400 млрд. т, в то время как извлекаемые запасы нефти по тем же оценкам гораздо меньше. Таким образом производство жидких топлив из сланцев могло бы в значительной степени сэкономить ресурсы природной нефти.

Однако реализация подобных прогнозов наталкивается на ряд больших трудностей. Существует много разных причин — технических и экономических, которые пока еще задерживают широкое использование сланцев для производства синтетических жидких топлив.

Тем не менее есть много хорошо разработанных технологических способов переработки сланцев, основанных на перегонке при температуре 350—1000°C, в зависимости от выбранного метода и ассортимента получаемых жидких продуктов (бензин, лигроин, котельное топливо, углеводороды).

Американские специалисты считают, чтобы завод по производству сланцевой «нефти» был бы рентабельным и давал бы прибыль, он должен перерабатывать 70 тыс. т сланца в сутки (или 26 млн. т в год).

Особое внимание американских специалистов привлекает переработка сланцев крупнейшего в США месторождения бассейна Грин-Ривер. По оценке их запасы сланцевой смолы этого месторождения превышают 320 млрд. м³, из них промышленных запасов более 80 млрд. м³.

В настоящее время подготовлен проект завода, на котором будет осуществляться комплексная переработка сланца по процессам «Тоско» (перегонка в ретортах) и «Юнион Ойл оф Калифорния» (с обогревом отходящим газом). При работе по такой технологии полностью используется сланцевая мелочь, снижается стоимость дробления и устраняются потери сланца.

Одновременно большое внимание уделяется изучению возможности перегонки сланцев непосредственно в пласте под землей.

Подземная переработка сланцев значительно уменьшает расходы по сравнению с их добычей обычными способами, позволяет избавиться от огромных количеств пустой породы, загромаждающих места разработок. При таком способе переработке не загрязняется окружающая среда.

И еще одно преимущество: как и при подземной газификации каменного угля, можно разрабатывать глубокие пласты большой мощности и тонкие неоднородные пласты.

На протяжении последних двадцати лет Горное Бюро США и некоторые частные фирмы («Синклер», «Оксидентал Петролеум») проводили испытания по перегонке сланца в пласте. Было заложено несколько десятков скважин в разных местах месторождения Грин-Ривер.

Наиболее эффективным был признан метод, по которому часть добываемого сланца сжигается в топках с псевдооживленным слоем, через который пропускают газы, образующиеся при подземном горении. Вырабаты-

ваемое тепло может быть использовано для получения электроэнергии. И немаловажное преимущество — нет необходимости в очистке продуктов подземного горения, для чего требуются дорогостоящие установки.

В Бразилии, занимающей второе место в мире по запасам горючих сланцев, их всестороннее изучение началось с 1954 г. Разработан оригинальный способ переработки сланцев в жидкое топливо. Уже работает в штате Перана полупромышленная установка.

«ЗЕЛЕННЫЕ» ПОСТАВЩИКИ ГОРЮЧЕГО



В поисках новых источников сырья для производства синтетического жидкого топлива ученые Советского Союза и других стран мира уделяют много внимания изучению возможности использования растительного сырья.

В последние годы узбекским ученым, академиком А. Садыковым и его сотрудниками были проведены обширные исследования многих растений, которые показали, что из их биомассы можно получать «искусственную нефть», дизельное топливо и моторное горючее.

Наиболее пригодными для этой цели оказались растения, которые вырабатывают в клетках и тканях латекс. Это органическое вещество представляет собой водную эмульсию углеводов, в которой не содержится ни серы, ни других вредных примесей, имеющих-ся в сырой нефти и углях разных видов.

Эти растения широко распространены в природе: их насчитывается около 30 тыс. разных видов. Больше всего среди них представителей семейства молочаевых — свыше 15 тыс. видов. Например, молочай чино-видный — ярко-зеленый кустарник произрастает во многих местах в зоне умеренного климата. В сухой массе этого растения содержится около 10 % углеводов, что позволяет получать с одного гектара посевов молочая не менее 4 тыс. литров искусственной нефти. Много молочаевых разных видов растет в нашей стране — в одной только Средней Азии насчитывается их пять родов и 88 видов.

В тропической зоне Южной Америки растет копайбу. Это растение с таким экзотическим названием относится к семейству бобовых. Оно содержит жидкость, богатую углеводородами и близкую по химическому составу к дизельному топливу. Особое преимущество этого растения в том, что вырабатываемую им жидкость можно использовать в качестве горючего без предварительной переработки.

Сравнительно недавно в странах Юго-Восточной Азии обнаружено еще одно многолетнее растение — поставщик жидкого топлива. Его даже называют нефтяным деревом (ханга). В плодах этого удивительного дерева содержится до 16 % горючего вещества, напоминающего по составу и свойствам керосин, оно может заменить жидкое топливо.

В ближайшие годы на Филиппинах будут созданы плантации для выращивания деревьев, из плодов которых предполагают получать «растительный керосин» в промышленном масштабе.

На обочинах дорог во многих странах мира растет еще одно необыкновенное растение — ватник сирийский. В его стеблях и листьях содержится до 30 % углеводов, пригодных для использования в качестве жидкого топлива.

Из различных диких и культурных растений, древесины, сельскохозяйственных отходов можно получать путем гидролиза этиловый и метиловый спирт.

В Советском Союзе уже свыше сорока лет работают заводы, на которых из горбылей, стружек, реек, опилок получают гидролизный этиловый спирт. Из 1 т сухих опилок получается 100—120 л спирта. А небольшой лесопильный завод с двумя пилорамами может за год дать опилок для производства 1 млн. л спирта.

Давно было известно, что спирт может служить хорошим моторным горючим как в чистом виде, так и в смеси с бензином (такая смесь называется газохол). Первые попытки использовать спирт или газохол для замены бензина в автомобильных моторах были приняты еще в начале нашего века. Однако затем в результате внедрения в нефтехимической промышленности крекинга для переработки нефти на рынок стал поступать дешевый бензин. У него было еще одно преимущество перед спиртом — вдвое бóльшая теплота сгорания.

В настоящее время, когда непрерывно растут цены

на бензин, этот недостаток спирта не имеет никакого значения.

Поэтому и ведутся сейчас во многих странах — как заокеанских, так и европейских (ФРГ, Швеция, Австрия и др.) исследования по разработке наиболее экономически выгодных способов использования газохол.

Необходимо еще отметить и некоторые преимущества спиртобензиновой смеси. Добавка спирта уменьшает вредные выбросы в атмосферу. А это ведь имеет немаловажное значение для охраны окружающей среды. К тому же отпадает необходимость в дорогостоящих присадках — веществах, повышающих октановое число бензина, потому что спирт сам его увеличивает.

При добавке свыше 20 % газохол не требуется никакой реконструкции двигателей, а также не снижается и их мощность.

В США особое внимание уделяется производству этилового спирта (этанол) из отходов сельского хозяйства — остатков переработки цитрусовых на консервных заводах, сыворотки сыроварения, выжимок свеклы на сахарных заводах и др. По самым приблизительным подсчетам этого количества будет достаточно для получения 2,3 млн. м³ этанола в год.

Хотя это составляет небольшую долю в общем потреблении моторного горючего в стране, тем не менее уже сегодня газохол продают на 800 автозаправочных станциях в 22 штатах.

Правительство США всячески поощряет применение газохол для замены чистого бензина. Еще несколько лет назад был отменен налог на газохол. Частным фирмам, желающим организовать производство этилового спирта из растительных отходов, предоставляются субсидии и кредиты. Часто появляются статьи, в которых отмечается экономическая эффективность производства спирта и его использования. По подсчетам американских специалистов, использование бензина с 10 % добавкой этанола дает ежегодно экономию нефти 1,8 млн. т.

Финансовая поддержка правительством предприятий, вырабатывающих этиловый спирт из растительных отходов, дает возможность уже сейчас конкурировать по цене с нефтяным бензином. А в ближайшей перспективе спирт станет еще дешевле.

Особенно остро стоит вопрос о замене бензина этиловым спиртом в Бразилии. Еще совсем недавно эта страна расходовала на ввоз иностранной нефти больше

средств, чем получала доходов от продажи сахара и кофе — главных продуктов бразильского экспорта.

А теперь в Бразилии построено много заводов, на которых вырабатывают этанол из даров зеленого царства. В 1979 г. было получено 4 млн. л спирта. К 1990 г. предполагается заменить спиртом больше половины нефти, потребляемой в стране.

В успешном решении столь важной для хозяйства этой латиноамериканской страны проблемы активное участие принимают автомобилестроители. По сведениям бразильской печати эти фирмы затратили свыше 50 млн. долларов на разработку двигателей новых конструкций для автомашин, в которых будут сжигать чистый спирт. В настоящее время выпуск таких двигателей составляет половину всех видов автомобильных двигателей, которые производят на заводах Бразилии. Уже 12 % автомобилей пользуются чистым этанолом. К 1990 г. предполагается свыше 40 % парка автомашин перевести на работу на этаноле, а остальные на газохол.

Разумеется, в Бразилии существуют особо благоприятные условия для производства дешевого спирта — огромные массивы сахарного тростника, отходы различных заводов, перерабатывающих фрукты и вырабатывающих консервы, и т. п. К тому же теплый климат позволяет пользоваться топливными смесями в любое время года.

Однако и в других странах производство этанола из растительного сырья — экономически выгодно, так же как и его применение в качестве горючего как в чистом виде, так и в смеси с бензином.

И нет сомнения в том, что в ближайшее десятилетие дары нашего зеленого друга смогут также эффективно соперничать с бензином, как бурый и каменный уголь.

Достижения современной науки открывают широкие перспективы не только для получения жидкого топлива разных видов из растений, которые растут на нашей планете, но и дают возможность культивировать нефтеносные растения. Успешное развитие новой отрасли науки — генной инженерии позволяет путем воздействия на наследственный аппарат тех или иных растений выращивать гибриды, которые будут содержать большое количество углеводородов — жидкого горючего.

Возможно, наступит такое время (вероятно, уже в середине XXI века), когда продукция «зеленой энергетики» будет все в большей степени удовлетворять потребности человека в жидком топливе.



ВТОРАЯ ЖИЗНЬ ОТХОДОВ

ПРИОРИТЕТ
РУССКИХ УЧЕНЫХ

В 1911 г. в Московском университете произошли события, сыгравшие важную роль в жизни многих русских ученых. Непосредственным поводом к этим событиям послужила смерть Л. Н. Толстого.

Студенты Московского университета были крайне возмущены травлей, которой подвергся великий русский писатель, устраивали сходки, открыто выражали свой протест против действий царского правительства.

Министр народного просвещения Кассо воспользовался случаем, чтобы изгнать из университета революционно настроенных студентов. Несколько студентов было арестовано, уволены ректор и два его помощника.

В ответ на действия реакционного министра 125 профессоров и преподавателей университета подали в отставку. Среди них был и профессор (впоследствии академик) Н. Д. Зелинский, который возглавлял тогда кафедру органической химии. Исследования химического состава и строения нефти различных сортов принесли Н. Д. Зелинскому мировую известность.

Н. Д. Зелинский смог вернуться в университет на кафедру лишь после Великой Октябрьской социалистической революции. Здесь под его руководством была создана могучая школа талантливых советских ученых-органиков, сыгравших большую роль в развитии нефтехимической промышленности и получении искусственного жидкого топлива,—академики С. С. Наметкин, Б. А. Казанский, профессора Н. А. Платэ, К. А. Кочешков и др.

В 1918 г. в стране полыхало пламя Гражданской войны. Южные районы, где добывалась нефть, были заняты белогвардейцами. Советская Россия, отрезанная от источников нефти, очень нуждалась в горючем для броневиков и самолетов молодой Красной Армии. В этот период оченьгодились знания Н. Д. Зелинского в области нефтехимии. С помощью крекинга и катализатора — хлористого алюминия — из отходов нефти (мазута) и тяжелого солярового масла, скопившихся в нижегородских нефтехранилищах, он получил авиационный бензин ценнейших сортов.

Напомним, что еще в 1890 г. талантливый русский инженер В. Г. Шухов, автор многих ценных технических изобретений, разработал новый способ расщепления (крекинга) нефти и мазута под действием высокой температуры и давления. Катализатором служила глина. По новому способу можно было получать бензин — до 50 % массы сырья, тогда как при прямой перегонке нефти получается всего лишь 10—15 % массы сырья.

Годом позже В. Г. Шухов запатентовал выдающееся изобретение, которому суждено было совершить переворот в нефтяной промышленности, и разработал проект крупного крекинг-завода.

Однако тогда на бензин еще не было спроса — и внимание нефтепромышленников было направлено на увеличение выхода керосина из нефти. При отгонке керосина из нефти оставался (55—70 %) тяжелый остаток.

Многие русские ученые и инженеры (А. Н. Никитов, Н. А. Алексеев и др.) пытались разработать такой процесс расщепления нефти, с помощью которого можно было бы из нефтяных остатков получать керосин. Было сооружено тогда и несколько опытных заводских установок.

Изобретение В. Г. Шухова в царское время не нашло себе применения на родине, а было в 1912 г. использовано в США: американец Бартон запатентовал способ расщепления нефти, названный крекинг-процессом.

Долгое время в США считали, что крекинг изобрели американцы и полностью игнорировали приоритет русского инженера.

Но вот в 1925 г. одна из американских нефтепромышленных фирм «Кросс» обвинила другую фирму «Диббс» в краже нового способа переработки нефти, купленного ею у Бартона. По закону за присвоение чужого патента фирма «Диббс» должна была выплатить фирме

«Кросс» неустойку — довольно крупную сумму, что грозило ей полным разорением.

Адвокат, представляющий интересы фирмы «Диббс», на суде сказал, что ни о каком присвоении чужого патента не может быть и речи, так как крекинг был открыт русским инженером В. Г. Шуховым еще тридцать пять лет назад.

Фирма «Кросс» заявила однако, что словам адвоката она не верит. Тогда суд вынес решение послать в Москву специальную комиссию для проверки заявления адвоката фирмы «Диббс».

В Москве В. Г. Шухов предъявил американской комиссии документы, подтверждающие, что именно он является первооткрывателем крекинга нефти. Американский суд признал приоритет русского инженера и отказал в иске фирмы «Кросс».

Разработанный инженером В. Г. Шуховым проект крупного крекинг-завода был претворен в жизнь после установления Советской власти. В 30-х годах изобретатель крекинга усовершенствовал свой способ (совместно с М. А. Калашниковым), который получил название «советский крекинг». В дальнейшем его широко использовали для выделения из нефтяных остатков высококачественного бензина.

В настоящее время для переработки нефти приняты различные способы крекинга в зависимости от того, какие требуются нефтепродукты.

На нефтеперерабатывающих заводах широко применяется так называемый жидкофазный крекинг. Разложение нефти проводится при температуре 450—510 °С и давлении 5 МПа. Нефтяные остатки, мазут, соляровое масло и другие нефтепродукты, состоящие из крупных тяжелых молекул, расщепляются и образуются более мелкие и подвижные молекулы бензина и газа.

Крекинг-бензин после очистки от некоторых органических веществ, которые вызывают образование смолы, по качеству превосходит своего собрата, получаемого из нефти простой перегонкой. Объясняется это тем, что в нем содержится до 30 % непредельных углеводородов и до 15—20 % ароматических углеводородов, которые образуются при расщеплении парафиновых и нафтенных углеводородов. Вот эти-то вещества повышают октановое число бензина до 70—85 против 60—70 у бензинов прямой перегонки.

Можно расщеплять нефть и нефтяные остатки при

атмосферном давлении, но при более высокой температуре — 550—620 °С. Такой процесс переработки называется парофазным крекингом.

В отличие от жидкофазного крекинга при этом способе переработки нефти и нефтяных остатков большая часть углеводородов переходит в газообразное состояние и их расщепление происходит очень быстро. В бензинах парофазного крекинга содержится еще больше непредельных и ароматических углеводородов, чем в бензинах, получаемых при жидкофазном крекинге. А это дает возможность получать бензины с более высоким октановым числом.

Однако у этого способа есть большой недостаток — парофазный крекинг требует большого расхода топлива.

В последнее время все шире пользуются крекингом нефтепродуктов и тяжелых нефтяных остатков в присутствии разных катализаторов.

Идея применения катализаторов для этой цели не нова. Еще в 70-х годах прошлого века А. А. Летний, пропуская нефть и нефтяные остатки, в которых содержались парафиновые и нафтеновые углеводороды, по раскаленным железным трубкам в присутствии пемзы заметил, что увеличивался выход образующихся при разложении исходных продуктов ароматических углеводородов. Несколько позднее, в 1884 г., русский ученый Г. Г. Густавсон доказал возможность расщепления углеводородов при невысоких температурах с помощью катализатора — хлористого и бромистого алюминия.

Спустя тридцать лет академик Н. Д. Зелинский проводил опыты расщепления солярового масла, используя в качестве катализатора приготовленный особым способом древесный уголь. Выход бензина составлял в этих опытах более 33 %.

А в 1915 г. в России была построена первая в мире промышленная установка, на которой получали бензин с помощью каталитического крекинга.

Особенно широко при крекинге нефти и нефтяных остатков стали пользоваться катализаторами — глинами, солями и окислами разных металлов — после Великой Октябрьской социалистической революции. Бурное развитие авиации требовало высококачественного авиационного бензина.

Советские ученые (академик Б. А. Казанский, профессор Б. Л. Молдавский, Н. А. Платэ и др.) изучали поведение разных катализаторов в процессе крекинга.

Удалось выявить целый ряд важных закономерностей в процессах расщепления нефти и нефтяных тяжелых остатков.

Оказалось, что в присутствии катализаторов образуется гораздо больше изомерных углеводородов (т. е. таких, у которых цепочка не прямая, а с боковыми ответвлениями), обладающих высоким октановым числом. А это, как уже указывалось, повышает качество бензина, что особенно важно для авиационных двигателей.

Выяснилось, что катализаторы могут не только ускорять и облегчать расщепление тяжелых углеводородов и способствовать превращению их в более легкие, но и имеют еще одно замечательное свойство. Например, платинированный уголь, оксид хрома способствуют превращению парафиновых углеводородов с прямой цепью в соединения с замкнутой цепью — циклические. Такие свойства катализаторов предсказаны академиком Н. Д. Зелинским и профессором Н. И. Шуйкиным еще в годы первой мировой войны.

Это открытие советских ученых имело важное теоретическое значение, раскрывало тайны природы. Пожалуй, еще значительнее его практическая польза. Оно дало возможность получать из нефти и нефтяных остатков больше ароматических углеводородов, которые являются хорошим моторным топливом и ценным сырьем для производства красок, взрывчатых веществ и т. п.

И ГЛУБЖЕ, И ПОЛНЕЕ

Наряду с различными способами каталитического крекинга для переработки тяжелых нефтяных остатков с целью получения бензина теперь все больше применяется в промышленности гидрогенизация. Основы этого способа были разработаны еще Ф. Бергиусом во время его исследований по ожигению угля во втором десятилетии нашего века, а затем значительно усовершенствованы другими учеными и изобретателями.

Гидрогенизация нефтяных остатков (или нефти) протекает в присутствии катализаторов и избытка водорода под значительным давлением (до 30 МПа) и высоких температурах (420—450 °С). Молекулы свободного водорода присоединяются к осколкам молекул продуктов, образовавшихся при расщеплении в процессе крекинга. Таким образом, увеличивается количество более легких углеводородов и повышается выход бензина,

Одновременно с бензином при гидрогенизации нефтяных остатков получается много газообразных углеводородов — метан, этан, пропан, бутан. Это ценное сырье для дальнейшей переработки.

Обычно гидрогенизацию нефтяных остатков (а также смол), чтобы получить наибольший выход моторных топлив, проводят в три ступени.

На первой ступени происходит присоединение водорода к органическим соединениям, которые содержатся в сырье. Одновременно отщепляются кислород, сера и азот.

Основным продуктом жидкофазной гидрогенизации, как называется процесс, протекающий на этой ступени, является широкая фракция, которая затем перерабатывается в бензин на последующих ступенях. Эта фракция выкипает при температуре 325—340 °С и содержит 15—20 % бензиновой фракции, которая кипит при более низкой температуре (160—180 °С). Гидрогенизация на этой ступени проводится с плавающим в жидкости катализатором (суспензированным).

В зависимости от химического состава нефтяных остатков давление может достигать 30 МПа.

На второй ступени процесса осуществляется еще одна важная операция, связанная с благотворным действием водорода, — предварительное гидрирование той широкой фракции, которая была получена на первой ступени. Гидрирование проводится над слоем неподвижного катализатора при температуре 360—400 °С и давлении 30 МПа.

И, наконец, третья ступень, завершающая переработку нефтяных остатков на бензин. На этой стадии процесса, который проводится при том же давлении и примерно при той же температуре (380—440 °С), расщепляются тяжелые углеводороды, содержащиеся в среднем масле, полученном на второй ступени, в легкие углеводороды бензина. При этом удается получать 50—52 % моторного горючего.

Технология гидрогенизации нефтяных остатков во многом сходна с технологией, применяемой для гидрогенизации угля. Даже аппаратура примерно такая же и тех же размеров.

Блок для жидкофазной гидрогенизации состоит из трех теплообменников, трубчатой нагревательной печи, трех реакционных колонн, горючего сепаратора, холодильника и продуктового сепаратора.

В поисках способов извлечения из нефтяных остатков еще большего количества бензина и котельного топлива и одновременно с целью уменьшения затрат на его производство ученые разработали комбинированный процесс их переработки. В таком способе предусматривается сочетание с гидрогенизацией нескольких процессов — простого (термического) или каталитического крекинга и облагораживания бензинов с помощью катализаторов.

При переработке нефтяных остатков по этому способу улучшается качество получаемого бензина и жидкого топлива других видов. К тому же более эффективно используется оборудование, применяемое для гидрогенизации.

И еще одно важное преимущество такого метода переработки. Разнообразные продукты, которые получают в процессе крекинга, могут быть использованы как дополнительное сырье для производства ценных химических продуктов и смесей жидкого топлива.

Выход бензина достигает почти 60 %, а котельного топлива — 25 %. Повышается и октановое число моторного горючего до 80 %.

В Советском Союзе в текущей пятилетке и в последующие годы должна быть значительно расширена глубокая переработка нефти и нефтяных остатков. В настоящее время это — одна из важнейших научно-технических и экономических проблем. Ведь до сих пор у нас много нефти сжигается в виде мазута.

Достижение в области каталитического крекинга тяжелых фракций мазута и расщепления непосредственно мазута или его тяжелых фракций в среде водорода открывает реальную возможность решить эту важную задачу. Научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации разрабатывают комбинированные блоки большой единичной мощности, объединяющие основные процессы глубокой переработки тяжелых фракций мазута и сернистых нефтей. Использование при этом оптимальных технологических схем позволяет сократить расход сырой нефти на производство 1 т моторных топлив с 2,2—2,3 до 1,2—1,3 т.

Уже создан и такой комбинированный блок (например, ТК-1) для переработки мазута. Сначала мазут перегоняется под глубоким вакуумом. Из дистиллята отбирается фракция, которая выкипает до 540 °С. Из нее получается фракция с температурой кипения до 180 °С (бензиновая). Фракция же с температурой кипения

185—350 °С используется как добавка к дизельному топливу. Остаток, кипящий выше 540 °С, представляет собой тяжелый вакуумный газойль, который подвергается гидроочистке. Фракция с температурой кипения 350 °С подвергается каталитическому крекингу.

Преимущества подобных блоков очевидны. Например, из одного и того же количества нефти можно получить вдвое больше бензина, чем котельного топлива.

Глубокая каталитическая переработка мазутов и других нефтяных остатков связана со многими трудностями. Пожалуй, главную трудность представляет подготовка их к перегонке под вакуумом и каталитическому крекингу.

Прежде всего, необходимо освободить мазут, гудрон и другие нефтяные остатки от содержащихся в них сернистых соединений, асфальтенов (асфальтосмолистых веществ), тяжелых металлов (ванадий, никель, железо) и других загрязняющих веществ. Их присутствие отравляет дорогостоящие катализаторы и значительно сокращает срок их службы. А это, в свою очередь, удорожает и без того дорогую гидропереработку нефтяных остатков.

Поскольку катализаторы очень дороги, необходимо стремиться как можно полнее их использовать в процессах промышленной переработки нефтяных остатков и как можно больше снижать ее стоимость.

Поэтому в настоящее время для увеличения срока работы катализаторов разработаны различные способы удаления примесей из нефтяных остатков. Для этой цели используются органические растворители. Такая очистка имеет и ряд недостатков: снижается выход товарной продукции (на сырье) до 70—80 % и получающиеся остатки трудно поддаются утилизации.

В настоящее время еще нет достаточно надежной и совершенной аппаратуры, позволяющей максимально реализовать потенциальные возможности катализаторов на всех ступенях переработки. Нужно разрабатывать новые высокоактивные и стабильные катализаторы, оптимальные способы подготовки мазута и его каталитической переработки.

Советскими исследователями разработан новый способ гидропереработки нефтяных остатков, который позволяет получить из них дополнительное количество дизельного топлива, сырья для каталитического крекинга и гидрокрекинга. Так, из мазута западносибирской неф-

ти дополнительно выделяются 48,4 % сырья для дальнейшей переработки. И еще одно преимущество нового способа — переработка проводится на дешевом катализаторе.

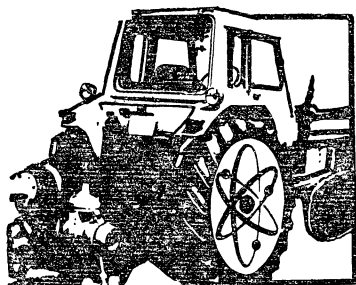
В поисках способов наиболее полного использования мазутов с высоким содержанием серы советские ученые разработали еще один оригинальный метод — энерготехнологический.

Если раньше мазут просто сжигали в топках котлов электростанций или других энергетических устройствах, то теперь его будут подвергать пиролизу — термическому разложению при температуре 900—950 °С. Полученный остаток от такой переработки — газ с высокой теплотой сгорания и кокс, взвешенный в горючих дымовых газах, которые содержат очень мало серы, — используется как топливо. Но главное преимущество энерготехнологического метода — возможность получать ценные для дальнейшей химической переработки непредельные и ароматические углеводороды — этилен, бензол, толуол и др. К тому же выход их из нефтехимического сырья гораздо выше, чем при переработке других продуктов.

Технико-экономические расчеты, выполненные ВНИПИНефтью, ЭНИНом и МХТИ им. Д. И. Менделеева по результатам проверки метода на опытной установке, показали его высокую экономическую эффективность. Получается экономия до 20 % котельного топлива и снижаются затраты на производство электрической энергии почти наполовину по сравнению с отдельным производством электрической энергии и химических продуктов из нефти.

Расширение глубокой переработки нефтяных остатков новыми методами, разработанными советскими учеными в последние годы, даст возможность стабилизировать добычу нефти в нашей стране и значительно увеличить ресурсы сырья для производства искусственного жидкого топлива.

Это будет еще один крупный вклад советских химиков в развитие индустриального могущества нашей Родины.



ЗАГЛЯНЕМ В БУДУЩЕЕ

ПОЧТИ ВДВОЕ

В современном мире, пожалуй, не найти человека, который не слушал бы сообщений по радио, не смотрел бы передач по телевизору. Наверно, нет уже такого дома, в котором не было бы холодильника, пылесоса и многих других бытовых электрических приборов. Электричество прочно вошло в наш быт и промышленность. И нет на планете уже такого предприятия, где бы не пользовались электродвигателями. Трамваи и троллейбусы стали необходимой принадлежностью больших городов. Электровозы тянут за собой вагоны на земле и под землей.

Для удовлетворения потребностей растущего населения земного шара в быстро развивающейся промышленности требуются колоссальные количества энергии, исчисляемые миллиардами тонн условного топлива¹.

В настоящее время потребляется примерно 10 млрд. т условного топлива. Эта энергия получается за счет сжигания природных горючих ископаемых разных видов — нефти (47 %), каменного угля (30 %), газа (17 %). Остальные 6 % используемой энергии — это атомная, гидроэнергия, солнечная и геотермальная (подземное тепло).

По подсчетам отечественных и зарубежных экономистов, мировая потребность в энергии в 2000 г. возрастет до 20 млрд. т условного топлива.

Имеющиеся в недрах нашей планеты запасы энергетического сырья различных видов пока еще достаточ-

¹ 1 т условного топлива приравнивается к 24 260 Дж.

ны, чтобы можно было получить необходимое количество энергии. Какие же возможности имеются для того, чтобы удовлетворить все возрастающую потребность в энергии в XXI веке?

Прогнозные запасы ископаемых топлив в мире оцениваются в настоящее время (в млрд. т условного топлива) в количестве 12 800, в том числе уголь примерно 11 200, нефть 740, природный газ 630. Прогнозные извлекаемые запасы топлива (в млрд. т условного топлива) значительно меньше 3800, в том числе уголь 2900 (76,3 %), нефть 370 (9,7 %) и газ 500 (13,1 %). Извлекаемые природные ресурсы урана и тория в случае использования делящегося ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах по энергетическому эквиваленту существенно превосходят запасы ископаемых топлив.

Извлекаемых прогнозных запасов топлива при уровне потребления энергии в 2000 г. хватит примерно на 200 лет, а с учетом запасов ядерного топлива этот срок значительно возрастет.

Однако запасы нефти истощаются быстрее, чем запасы угля и сланцев.

Учитывая сложившееся положение с природными видами топлива, у нас в стране приняли решение о создании Энергетической программы СССР на длительную перспективу, которая позволила бы значительно экономнее потреблять нефть в промышленности и в народном хозяйстве, полнее и эффективнее использовать другие источники энергии — газ, уголь, сланцы, а также ядерную, солнечную, гидро- и геотермальную энергии.

Разработка Энергетической программы СССР была начата Академией наук СССР, Государственным комитетом СССР по науке и технике, Госпланом СССР и топливно-энергетическими министерствами на основе решений XXVI съезда КПСС под руководством президента Академии наук СССР.

Проект Энергетической программы был рассмотрен на заседании Политбюро ЦК КПСС в апреле 1983 г., а в марте 1984 г. были опубликованы Основные положения Энергетической программы СССР на длительную перспективу.

Одна из основных задач этой Программы — создать такие условия использования природных видов топлива и других источников энергии, которые позволили бы провести перестройку экономики в разных отраслях народного хозяйства с целью обеспечить их скорейший перевод на путь интенсификации.

В Энергетической программе СССР предусматриваются научно обоснованные пути расширения энергетической базы, а также дальнейшего роста и совершенствования топливно-энергетического комплекса СССР до 2000 г.

Энергетическая программа будет осуществляться в два этапа. На первом этапе (начиная с 11-й пятилетки) в стране будет сокращаться потребление нефтепродукта (однако сохранится высокий уровень добычи нефти). Значительно увеличится добыча природного газа. Если в 1980 г. было добыто газа 435 млрд. м³, то к 2000 г. добывать будут еще больше. Будут построены новые газопроводы, насосные станции, повышена эффективность транспортировки и использования газа.

Программой предусматривается также значительный рост производства электроэнергии. Особое внимание уделяется строительству новых атомных станций. Намечено довести развитие ядерной энергетики до такого уровня, который обеспечил бы потребности народного хозяйства в электрической энергии.

На новых (и уже действующих) атомных станциях будут введены в эксплуатацию реакторы большей мощности — водо-водяные (ВВ ЭР-600) единичной мощности 1 млн. кВт и каналные (РВМК) единичной мощности 1 и 1,5 млн. кВт (самые мощные в мире). Одновременно с этим будут строиться реакторы на быстрых нейтронах (РБМ), которые наряду с производством электрической энергии из природного урана вырабатывают также новое ядерное «горючее» — плутоний.

Предусмотрен и дальнейший рост выработки электрической энергии на старых значительно модернизированных электростанциях. В настоящее время мощность всех наших электростанций достигает 260 млн. кВт, а выработка электрической энергии — 1465 млрд. Вт·ч.

На первом этапе предполагается также создание материально-технической базы для широкого использования так называемых нетрадиционных источников энергии — ветровой, солнечной, геотермальной, приливов и волн.

Первый этап завершится уже на рубеже 80—90-х годов, а второй — к концу нашего века — на рубеже XX и XXI веков.

В европейской части СССР развитие ядерной энергетики позволит сократить потребление мазута в народном хозяйстве вдвое.

На втором этапе осуществления Энергетической программы значительно возрастет добыча угля, особенно дешевых его сортов, открытым способом. Будет начато производство синтетического жидкого и моторного топлива. В Канско-Ачинском угольном бассейне появятся первые крупные заводы по производству «искусственной» нефти и бензина.

Большое внимание будет уделено разработке и внедрению новых методов сжигания угля, которые дадут возможность повысить единичные мощности теплотехнических установок.

И еще одно новшество — метанол будут непосредственно перерабатывать в горючее для автомобилей и тракторов. Моторным топливом станет и чистый водород.

Для того чтобы успешно провести намеченные Энергетической программой мероприятия по широкому использованию различных видов энергетических ресурсов, потребуется много новых машин, агрегатов и приборов.

Для обеспечения нужным оборудованием уже на первом этапе проведения Энергетической программы будет расширено и реконструировано много машиностроительных и металлургических заводов. Особое внимание будет уделено выпуску различных агрегатов для угольных шахт и разрезов, а также для электростанций. Будет налажено изготовление различных приборов для контроля и учета топливно-энергетических ресурсов.

Успешное выполнение Энергетической программы значительно увеличит число электродвигателей (энерговооруженность) в разных отраслях нашей промышленности и особенно в агропромышленном комплексе. А это, в свою очередь, поможет нам быстрее выполнить Продовольственную программу и создать изобилие продуктов питания.

Энергетическую программу, рассчитанную на длительную перспективу, с полным основанием называют планом ГОЭЛРО¹ в новых условиях.

Действительно, задачи, которые поставлены этой Программой и результаты, которые будут получены при ее осуществлении, не менее грандиозны для нашей энергетики и народного хозяйства, чем электрификация нашей страны по плану ГОЭЛРО.

¹ В декабре 1920 г. III Всероссийский съезд Советов одобрил предложенный В. И. Лениным план ГОЭЛРО. В. И. Ленин в докладе на съезде назвал его второй программой Партии.

Энергетическая программа имеет не только большое экономическое, но и политическое значение. Она — важнейшее звено в широком комплексе мероприятий, осуществляемых Коммунистической партией и Советским государством по неуклонному росту благосостояния трудящихся и повышения могущества нашей Родины.

Советский Союз располагает крупными природными энергетическими ресурсами и мощным производственным и научно-техническим потенциалом. А это в сочетании с преимуществами плановой системы хозяйства обеспечит СССР и всему социалистическому содружеству превосходство в соревновании с капиталистическим миром.

В НОГУ С ПРОГРЕССОМ

В последние годы проблеме создания заводов искусственного жидкого топлива из угля и сланцев уделяется большое внимание.

Планируется дальнейшее развитие научно-исследовательских работ по проблеме ожижения угля в странах — членах СЭВ, которые координируются Центром по новым методам утилизации углей стран — членов СЭВ. Составлены долгосрочные планы по внедрению в промышленность наиболее эффективных способов переработки угля в жидкое топливо и химические продукты. Особое внимание будет уделено газификации углей, преимущественно в Венгрии, Чехословакии и ГДР.

Теперь уже никто не сомневается, что в перспективе синтетическое топливо заметно потеснит нефть, бензин, котельное топливо. По одним оценкам это произойдет в 90-х годах нашего века, а по другим, столь же авторитетным — 20—30-х годах будущего столетия.

Такой разброс вполне объясним: как легко здесь ошибиться, показывает следующий пример недавнего прошлого.

В 1972 г. специалисты американской фирмы «Тоско» утверждали, что производство искусственного жидкого топлива будет рентабельным, если цена на нефть возрастет в два-три раза (с 17 до 32—47 долл. за тонну). В августе 1974 г. цены на нефть утроились. Те же специалисты передвинули граничные цифры до 120 долл. за тонну. В 1980 г. цены почти в два раза превысили и эту границу, дойдя до 125—230 долл. Но достижение реаль-

ной рентабельности искусственного жидкого топлива вновь отодвинулось в будущее. Этот пример показывает ограниченность чисто экономических оценок в данной области.

Однако, несмотря на все трудности и сомнения, использование в обозримом будущем ненефтяного жидкого топлива в крупных масштабах становится объективной необходимостью, которая диктуется как ходом технического прогресса, так и современным уровнем мировых запасов нефти. Поэтому фундаментальные и прикладные исследования и технологические разработки, направленные на решение возникающих здесь проблем, должны будут не только продолжаться, но и, несомненно, значительно расширяться¹.

Наряду с дальнейшим усовершенствованием различных уже разработанных промышленных методов производства жидкого топлива — гидрогенизации, газификации углей с получением синтез-газа — намечается разработка способов с использованием атомной энергии, плазмы.

Страны — члены СЭВ, а также большинство капиталистических стран предусматривают в ближайшем будущем строительство ряда крупных заводов для переработки твердого топлива путем газификации.

Только в США по уже разработанной специалистами программе предполагается к 2000 г. сдать в эксплуатацию девяносто газовых заводов производительностью 230 млрд. м³ горючих и технологических газов.

Правда, пока еще, по данным американской печати, цена «угольного» газа в два раза выше, чем природного. Однако, учитывая непрерывный рост цен на нефть и природный газ, можно думать, что к концу века цены сравняются.

В поисках возможных путей удешевления искусственного газа в будущем специалисты обратились за помощью к «доброму атому». На использование тепла атомных реакторов возлагают теперь большие надежды.

Какие же особые преимущества дает применение атомной энергии для газификации углей?

Напомним, что при существующих различных способах газификации лишь 60—70 % содержащегося в уг-

¹ Локтев С. М. Искусственное жидкое топливо: прошлое, настоящее, будущее. — Вести. АН СССР, 1982, № 1, с. 132—133.

лях углерода превращается в горючий газ. А куда же деваются остальные 40—30 % углерода? Они сгорают и дают тепло, необходимое образованию газов. Пользуясь же теплом атомных реакторов, можно полностью превратить углерод угля в газы.

И еще одно важное преимущество работы с ядерным реактором — можно получать более высокие температуры и снизить расход топлива. К этому надо еще добавить уменьшение в горячем газе содержания углекислого газа и выбросов вредных примесей (сернистого газа, оксидов азота).

В США уже довольно хорошо изучена газификация угля с применением тепла атомных реакторов мощностью 15 и 20 МВт. Температура выходящего из реактора газообразного гелия достигает 850 °С (в дальнейшем предполагается повысить ее до 950 °С).

Горячий гелий из атомного реактора проходит через теплообменник, где он перегревает поступающий туда водяной пар. Перегретый пар из теплообменника по спиральной трубе (змеевику) проходит через слой угля в генераторе, затем поступает в паровой котел, нагревая в нем воду. Водяной пар, который образуется в паровом котле, разделяется на два потока. Один из них поступает в газогенератор, другой идет в теплообменник, где он перегревается за счет горячего гелия, и снова попадает в газогенератор. Гелий, отдавший свое тепло пару, из теплообменника возвращается в атомный реактор.

В отличие от обычных способов газификации при работе с атомными реакторами сначала бурый уголь подвергают полукоксованию, пользуясь горячим гелием, а затем полученный кокс газифицируют.

Для работы четырех-семи газогенераторов производительностью до 40 т угля в час достаточно одного атомного реактора мощностью 3000 МВт.

Проведенные на опытно-промышленной установке испытания газификации угля с использованием тепла атомных реакторов показали, что бурый уголь интенсивно вступает во взаимодействие с водяным паром при температуре 800—850 °С, а каменный уголь и при температуре почти на 100 °С выше.

Разработанная западногерманской фирмой «Лурги» технология производства газов с применением атомного тепла обеспечивает возможность превращения 40 % твердого топлива в водород.

Как показывают подсчеты затрат энергии, для получения водорода и метана из бурого угля 40 % ее заменяются дешевым атомным теплом.

В ФРГ и некоторых других странах планируется постройка крупных газовых заводов с широким использованием ядерной энергии. Например, газовый завод с атомным реактором мощностью 3000 МВт будет перерабатывать 1 млн. т угля в год. На этом заводе будут получать 2,4 млрд. м³ городского газа или 950 млн. м³ синтетического природного газа, 3,3 млрд. м³ водорода. К тому же будет еще выработано 8,6 млрд. кВт·ч электроэнергии. Такие заводы в ближайшей перспективе будут строиться неподалеку от крупных угольных месторождений. Для того чтобы такой завод был бы рентабельным, необходимо применять теплообменники с высоким коэффициентом использования тепла гелия.

И еще одно немаловажное условие — уголь должен быть достаточно дешевым. По подсчетам американских специалистов, если цены на уран возрастут вдвое, то стоимость синтез-газа увеличится всего на 2 %, а при удвоении цен на уголь — в полтора-два раза. Планируются и процессы, в которых предусматривается сочетание газификации с синтезом метанола на базе ядерной энергетики. Метанол, как и газ, можно передавать по трубопроводам на большие расстояния. Уже разработан проект постройки завода, на котором будет вырабатываться 15 млн. т метанола в год. Экономисты считают, что при такой производительности завод будет иметь достаточную прибыль.

Экономические расчеты показывают, что стоимость газа (с учетом капиталовложений), полученного с помощью ядерного тепла, почти в полтора раза меньше, чем при газификации угля обычными способами: водяным паром или воздухом, обогащенным кислородом.

Уже во многих странах начаты широкие исследования возможности газификации углей и других твердых горючих ископаемых (сланцев, торфа, сапропелитов) в дуговой плазме с участием водяного пара. Одно из преимуществ такого способа — получение только газообразных продуктов, которые очищаются от сернистых соединений. К тому же реакции взаимодействия водяного пара с углем протекают гораздо быстрее и полнее.

Советскими специалистами разработана специальная конструкция плазмопатрона и с его помощью была проведена газификация канско-ачинских углей на опытной

установке. По мнению специалистов этот способ газификации имеет большое будущее.

В поисках все новых, технически более эффективных и экономически выгодных способов переработки твердых горючих ископаемых в газообразное и жидкое топливо изобретатели и ученые стремятся как можно больше использовать новейшие достижения современной техники.

Перспективной может стать со временем и обработка угля коронным разрядом. Проведенные в США исследования этого процесса и его технико-экономическая оценка показывают, что расход энергии много меньше, чем при переработке угля в плазме; он составляет примерно 1,2 кВт на 1 кг угля. При работе по этому способу мелкораздробленный уголь сначала замешивают на антраценовом масле. Такую смесь, вернее дисперсную систему, нагнетают под давлением в реактор и обрабатывают коронным разрядом в присутствии водорода или метана.

Специалисты считают весьма перспективным и представляющим большой практический интерес в самом ближайшем будущем метод газификации бурых углей водяным паром, который образуется из содержащейся в них влаги. Давно известно, что свежедобытые бурые угли сильно обводнены, содержат до 60 % воды. При газификации рейнских бурых углей на опытно-промышленной установке парами их собственной влаги (59 %) в трубчатой печи с внешним обогревом получен газ при температуре реактора 850 °С с содержанием 40 % оксида углерода СО и таким же водорода.

В последние годы вновь возрос значительный интерес к подземной газификации углей. На ближайшие 10—15 лет запланировано много исследовательских работ по разработке более эффективных способов газификации под землей. Подобные исследования уже проводятся в СССР, ЧССР, США, ФРГ, Бельгии. По предварительным расчетам советских, чехословацких и американских ученых крупные электростанции, которые будут сжигать в топках своих котлов «бедный» газ, получаемый при газификации под низким давлением, смогут продавать потребителям электроэнергию по ценам на электроэнергию, получаемую на атомных электростанциях.

Видимо, даже в ближайшем будущем газификацию угля под землей будут проводить на больших глубинах под высоким давлением (0,4—0,6 МПа), пользуясь парокислородным дутьем. Будут получать горючий газ как с низкой, так и с высокой теплотой сгорания.

В США уже разработаны проекты подземной газификации на глубинах 700—1200 м, причем для дробления угля будет применяться мощный взрыв. Однако, вряд ли в ближайшем будущем такие проекты будут претворены в жизнь из-за опасения нанести ущерб местному населению.

Применяемые в Советском Союзе способы подземной газификации угля пользуются большим успехом у зарубежных специалистов и промышленников.

Несколько лет назад известная американская фирма «Техас Ютилитед» купила в СССР лицензию на советскую технологию получения горючих газов из угля под землей и предполагает газифицировать бурый уголь в крупных масштабах.

С ЗАБОТОЙ ОБ ЭНЕРГЕТИКАХ

Одним из важных направлений дальнейшего развития энергетического использования угля во многих странах является значительное расширение производства бытового бездымного топлива. До сих пор топливные брикеты получают брикетированием без связующего подсушенных углей в штемпельных прессах или со связующим на вальцовых прессах. Сейчас уже интенсивно разрабатываются различные новые технологические процессы производства бытового бездымного топлива. Примером может быть брикетирование (Индия, ГДР) полукокса со связующим (каменноугольным пеком) и термоокисление готовых брикетов, т. е. обработка топочными газами, которые содержат 10—12 % кислорода. Такая термоокислительная обработка продолжается в зависимости от выбранной технологии — от 50 мин до 1 ч 20 мин.

В течение ближайших десятилетий добыча угля в мире увеличится в несколько раз. По американским данным, уже в 2000 г. она возрастет вдвое по сравнению с уровнем начала 80-х годов и достигнет 7 млрд. т условного топлива.

Резко увеличится потребление угля электростанциями. Раньше, когда сжигали уголь в топках паровых котлов электростанций, вместе с дымом в атмосферу уходила и часть тепла.

Теперь же при непосредственном сжигании угля стремятся полностью использовать заключенную в нем энер-

гию. Поэтому все время разрабатываются новые эффективные способы сжигания угля.

Один из них предусматривает горение угля в «кипящем» слое при атмосферном или немного повышенном давлении. Для того чтобы поддерживалась высокая температура сгорания угля над слоем золы, через него пропускают струю воздуха. Создается впечатление, что происходит кипение пылевидного угля. «Кипящий» слой позволяет улучшить теплопередачу и задерживает сернистые соединения, которые имеются в угле. Они не выбрасываются в атмосферу и не загрязняют ее.

Пользуясь этим методом, можно сжигать и низкосортный уголь, причем не только в крупных котельных электростанций, но и в небольших топках промышленных предприятий и домовых котельных установках.

А вот оригинальный и достаточно эффективный способ — сжигание угля в смеси с водой и нефтью. Такая смесь в соотношении 60 : 20 : 20 превращается с помощью ультразвукового генератора в тонкую эмульсию. У такого способа много ценных преимуществ — происходит полное сгорание, нет дыма и сажи, в продуктах сгорания резко уменьшается содержание оксидов азота (за счет присутствия воды).

В США многие тепловые электростанции в связи с дефицитом нефти будут переводиться на работу вместо мазута на угольно-водные эмульсии (70—75 % угля) или углемазутные (30 % угля). Это позволит использовать топки котлов, предназначенные для мазута без переоборудования. Потребуется лишь установка более эффективных уловителей для золы перед поступлением продуктов сгорания в дымовую трубу.

Несколько лет назад в Советском Союзе был разработан весьма эффективный метод сжигания сильно обводненной каменноугольной мелочи, которая накапливается в огромном количестве (свыше 2 млн. т в год) в процессе гидродобычи и обогащения каменных углей. Густая угольная пульпа — суспензия мелкоизмельченного угля в воде (в соотношении 1 : 1), которая может транспортироваться по трубам, распыляется форсункой в струе воздуха и воспламеняется. При этом образуется устойчивый факел пламени — и топливо полностью сгорает. Этот метод позволит использовать бросовое низкосортное топливо — шламы и отходы флотации, а также даст возможность избежать загрязнения водоемов и окружающего воздуха.

И назовем еще один перспективный способ сжигания угля, заслуживающий внимания, так называемый магнитно-гидродинамический. Уголь и предварительно подогретый воздух сжигают в контактной печи, в которой поддерживается высокая температура. В образовавшийся поток газа добавляют соли калия (1 % по массе), что придает ему высокую электропроводность. Газ, пропущенный затем через магнитное поле, вырабатывает электрический ток (по принципу вращения проводника в магнитном поле). Горючие газы, которые образуются при сжигании угля, отводятся в установку для пара.

При таком способе сжигания угля в магнитно-гидродинамическом генераторе одновременно получают тепловая и электрическая энергии. По мнению специалистов, общий КПД подобных установок достигает почти 50 % общего превращения энергии. И еще одно важное преимущество — воздух загрязняется меньше, чем при любых других способах сжигания. Такой способ разработан в СССР и США.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПЕРВЫЕ ШАГИ	3
Продолжая эстафету	3
Как сделать уголь жидким?	6
От нефти к углю	8
Зола — не помеха	15
Синтин-процесс	19
Дорогой пятилеток	21
2. НА РОДНЫХ ПРОСТОРАХ	25
В содружестве с нефтью	25
Нужен катализатор	29
Спирт — горючее	33
3. СИБИРСКИЙ ГИГАНТ	37
На сотни лет	37
Траншея против штабеля	40
Приобретенное благородство	42
Без дыма и сажи	46
4. ИЗ НЕДР ГОРЮЧЕГО КАМНЯ	49
И светит, и греет	49
Переворот в технике	54
Подземный газогенератор	57
5. ИЗ КОРИЧНЕВОЙ ШКАТУЛКИ	62
Горящий камень	62
Богатырь набирает силу	66
В союзе с химией	70
Крупнейший успех сланцевиков	75
К новому подъему	77
Горят голубые огни	80
На земле и под землей	84
6. «ЗЕЛЕННЫЕ» ПОСТАВЩИКИ ГОРЮЧЕГО	87
7. ВТОРАЯ ЖИЗНЬ ОТХОДОВ	91
Приоритет русских ученых	91
И глубже, и полнее	95
8. ЗАГЛЯНЕМ В БУДУЩЕЕ	100
Почти вдвое	100
В ногу с прогрессом	104
С заботой об энергетиках	109

Соперники нефти и бензина

Можно ли заправить автомобиль углем? Оказывается можно, если сделать уголь жидким. Давление и температура помогут химикам получить жидкое моторное топливо.

Сибирские кладовые открывают свои богатства — сырьем для производства жидкого топлива станет бурый уголь Канско-Ачинского бассейна.

Соперником нефти и бензина является не только уголь, но и сланец — горючий камень. Из него выделяют сланцевый газ, а из продуктов переработки — много ценных веществ: сланцевый бензин, котельное топливо, битум, различные лаки, сульфакол и др.

Еще одно чудо века — возможность использования растительного сырья для получения синтетического жидкого топлива.