

ВЕСТНИК ИНЖЕНЕРОВ и ТЕХНИКОВ

1 9  4 7

ИЗДАТЕЛЬСТВО ВЦСПС — ПРОФИЗДАТ
МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Создадим мощную газовую промышленность и промышленность искусственного жидкого топлива	1
Член-корреспондент АН СССР А. Б. Чернышев и канд. техн. наук И. С. Галынкер—Энергохимическое использование топлива на электростанциях	2
Канд. техн. наук И. С. Галынкер, Р. Н. Питин и И. Л. Фарберов—Расчет процесса полукоксования подмосковного угля и топлива с твердым теплоносителем	5
Инж. И. М. Гойхрах—Обзор современного состояния промышленности полукоксования твердых топлив за границей	9
Канд. техн. наук И. Г. Энтин и инж. Г. В. Грицевич—Печи для перегонки фушуньских сланцев	14
Канд. техн. наук Г. Г. Токарев и инж. Г. Н. Полубояринов—Полукокс как топливо для автомобильных газогенераторов	18
Канд. техн. наук Н. В. Шишаков—Газификация топлива как метод производства бытового газа	23
Канд. техн. наук В. С. Альшутер—Современные методы производства газа для синтеза жидкого топлива	28
Н. В. Чалоз и В. А. Лямин—Очистка генераторного газа из древесины от смолы в электрофильтрах пластинчатого типа	34
ХРОНИКА НАУЧНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЩЕСТВ	
Во Всесоюзном совете НИТО	39
В Ленинградском совете НИТО	39

Редакционная коллегия: проф. В. С. ЕМЕЛЬЯНОВ, инж. В. П. ЛЕБЕДЕВ, акад. В. Л. ПОЗДЮНИН, член-корр. АН СССР Н. С. СТРЕЛЕЦКИЙ, член-корр. АН СССР А. Б. ЧЕРНЫШЕВ

АДРЕС РЕДАКЦИИ: Москва, Проезд Владимирова, 6. Тел. Н 4-88-65

В Е С Т Н И К И Н Ж Е Н Е Р О В Т Е Х Н И К О В

« ENGINEERS AND TECHNICIANS BULLETIN »

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОРГАН ВСНТО

« BULLETIN DES INGENIEURS ET DES TECHNICIENS »

ОСНОВАН В 1915 г. ПОЛИТЕХНИЧЕСКИМ ОБЩЕСТВОМ в МОСКВЕ и ОБЩЕСТВОМ ТЕХНОЛОГОВ в ЛЕНИНГРАДЕ

№ 1 1947 г.

Январь

Создадим мощную газовую промышленность и промышленность искусственного жидкого топлива

«Развить в крупных масштабах новую отрасль промышленности — газовую промышленность на базе добычи природного газа и переработки угля, торфа и сланцев. Довести в 1950 г. производство газа из угля и сланцев до 1,9 млрд. кубометров и природного газа до 8,4 млрд. кубометров. Продолжить работу по осуществлению подземной газификации и довести выработку газа подземной газификации в 1950 г. до 920 млн. кубометров в год.

Создать промышленность по переработке угля и сланцев в жидкое топливо. Довести в 1950 г. выработку жидкого топлива из угля и сланцев до 900 тыс. т. Восстановить и построить в Эстонской ССР сланцевые шахты мощностью 9,4 млн. т и в Ленинградской области мощностью 3 млн. т для создания промышленности по добыче газа из сланцев.

Развернуть строительство двух заводов гидрирования угля и одного завода синтеза бензина. Построить и ввести в действие за пятилетие сланце-газовые и сланцеперерабатывающие заводы в Эстонской ССР и Ленинградской области. Построить четыре новых газовых завода; построить и ввести в действие газопроводы Дашава — Киев, Кохтла — Ярве — Ленинград; закончить строительство газопровода Саратов — Москва¹.

Таковы грандиозные задачи, поставленные Законом о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946 — 1950 гг. перед учеными, инженерами, техниками и всеми работниками в области газовой промышленности и производства искусственного жидкого топлива.

Для развития газовой промышленности и создания совершенно новой для нас промышленности искусственного жидкого топлива на базе переработки угля, торфа и сланцев необходимы, во-первых, подробное изучение, критический анализ и освоение зарубежной техники и, во-вторых, широкое развертывание научных исследований по разработке новых, более эффективных процессов. Огромные масштабы производства газа и жидкого топлива, необходимые для удовлетворения потребностей наше-

го народного хозяйства, требуют в первую очередь интенсификации технологических процессов и повышения производительности отдельных агрегатов для сокращения капитальных затрат на сооружение новых заводов и расходов по их эксплуатации. Существующие заграничные образцы оборудования далеко не всегда удовлетворяют нашим требованиям и нашим условиям.

Одним из путей получения качественного сырья для производства искусственного жидкого топлива является полукоксование углей, торфа, сланца. В некоторых странах техника полукоксования сделала значительные успехи. Необходимо использовать и освоить этот опыт, но одновременно надо усиленно работать над новыми методами полукоксования, позволяющими интенсифицировать процесс и использовать менее качественное топливо.

Один из таких новых перспективных методов полукоксования разрабатывается Энергетическим институтом Академии наук СССР. Это — полукоксование мелкозернистого топлива с твердым теплоносителем.

К важнейшим задачам газовой промышленности относится широкое развитие газоснабжения городов как на базе природного и коксового газа, так и на основе газификации местных твердых топлив. Особый интерес представляет здесь освоение техники газификации мелкозернистого топлива под высоким давлением. Это даст возможность получать городской газ для бытовых целей из многих видов местных твердых топлив, в том числе низкосортных, вместо дефицитных высококачественных каменных углей.

В четвертом пятилетии намечено строительство нескольких газовых заводов высокого давления (20 атм), в первую очередь — мощного газового завода на подмосковном угле для снабжения Москвы. При полном развитии такого завода количество вырабатываемого им газа превысит объем газа, поступающего по газопроводу Саратов — Москва.

Надо также продолжать научные исследования по применению более высоких давлений в технике газификации топлива.

Развитие промышленности искусственного жидкого топлива требует больших количеств газа опреде-

¹ Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг.

ного состава для синтетических производств и технического водорода для сжижения углей и гидрирования тяжелых фракций смол и мазутов. В первую очередь стоит также задача освоения современных методов производства газа для синтеза и других технологических целей.

Советский Союз является пионером в деле осуществления подземной газификации углей. Необходимо интенсивно работать над дальнейшим освоением техники подземной газификации углей и раз-

вернуть научные исследования по подземной перегонке горючих сланцев.

Наряду с процессами газификации и полукоксования топлива весьма важно быстрее разрешить ряд вопросов очистки газа, выделения из него ценных жидких продуктов и т. д.

В разрешении этих больших и сложных задач самое активное участие должны принять члены наших научных инженерно-технических обществ, в первую очередь энергетиков и нефтяников.

Энергохимическое использование топлива на электростанциях

Член-корреспондент Академии наук СССР А. Б. ЧЕРНЫШЕВ
и канд. техн. наук И. С. ГАЛЫНКЕР
(Члены Общества энергетиков)

Быстрое развитие химической промышленности, особенно промышленности тяжелого органического синтеза и пластических масс, и все возрастающее потребление жидкого топлива в авиации, автомобильном и железнодорожном транспорте и в других отраслях народного хозяйства требуют соответствующего расширения сырьевых ресурсов. До последнего времени почти единственным источником получения жидкого топлива и целого ряда химических продуктов являлась нефть. Но месторождения нефти сосредоточены в небольшом числе районов, значительная часть которых весьма удалена от крупных промышленных центров. Поэтому за последние годы все больше внимания уделяется вопросу замены нефти искусственным жидким топливом и газом, получаемыми в результате переработки твердых горючих ископаемых, месторождения которых встречаются почти по всей территории Советского Союза.

При комплексном энергохимическом использовании битуминозных каменных и бурых углей, торфа и горючих сланцев они могут явиться источником не только тепловой энергии, но и ценного химического сырья для производства искусственного жидкого топлива, смазочных масел, пластических масс и целого ряда других продуктов. Одним из таких методов является высокотемпературное коксование каменных углей. При коксовании угля наряду с металлургическим и бытовым топливом (кокс, газ) образуются ценные жидкие продукты, при переработке которых получают: бензол, толуол, ксилол, фенолы, нафталин, красители и др. Кроме того, коксовый газ может служить источником водорода — для производства синтетического аммиака и искусственного жидкого топлива и источником этилена — для получения ряда продуктов органического синтеза. Однако сырьевой базой коксохимической промышленности являются только некоторые, определенные марки каменных углей, ресурсы которых сравнительно ограничены, что определяет масштабы и, в известной мере, районы ее развития во избежание дальних перевозок угля.

Другой метод комплексного энергохимического использования топлива — низкотемпературное полу-

коксование. В отличие от коксохимических предприятий полукоксовые установки могут перерабатывать разнообразные виды твердого топлива, в том числе и низкосортные (с большим содержанием золы и влаги). При полукоксовании топлива выход жидких продуктов значительно больше, чем при коксовании, и они имеют другой состав. При переработке продуктов полукоксования обычно получается довольно много фенолов, моторного топлива и парафина. Кроме того, при полукоксовании образуется некоторое количество высококалорийного газа.

Третьим методом энергохимического использования топлива является его газификация. Ценные жидкие продукты получаются, главным образом, при газификации торфа и древесины¹. При газификации каменных и бурых углей в современных газогенераторах выходы и качество жидких продуктов обычно значительно ниже, чем при полукоксовании. С точки зрения использования топлива, как источника химического сырья, газификация представляет наибольший интерес для получения газов, главным образом водорода и окиси углерода, — для синтеза моторного топлива и метанола и производства водорода для гидрогенизационных установок.

Источником газообразного химического сырья может служить и топливо, не дающее жидких продуктов (антрациты, тощие угли).

Газификация позволяет в широких пределах регулировать использование топлива (например, водяного газа) как источника тепловой энергии и химического сырья. Но, как уже указывалось, при газификации топлива основным видом химического сырья большей частью являются газообразные продукты.

Наибольшее количество ценных жидких продуктов может быть получено при полукоксовании топлива.

Для обеспечения широкого применения полукоксования как метода переработки, дающего воз-

¹ Масштабы потребления древесины в газогенераторах ограничены.

возможность комплексного использования разнообразнейших топлив, необходимо устранить затруднения со сбытом полукокса, обеспечив его потребление непосредственно на месте получения.

Эта задача полностью решается при сочетании полукоксовых установок с электростанциями, являющимися крупнейшими централизованными потребителями топлива. В таком случае весь полукокс используется непосредственно в топках паровых котлов, которые снабжаются при данном решении вопроса топливом стандартного качества (постоянной влажности).

В СССР имеются весьма широкие перспективы комплексного энергохимического использования топлива на базе переработки ряда местных твердых топлив, дающих большие выходы химического сырья, так, например: торфа — в Белорусской ССР, в Горьковской и Ивановской областях и др.; кизеловского угля — в Молотовской области; черемховского угля — в Восточной Сибири; длиннопламенных углей — в Донбассе и т. д.

Основным недостатком существующих полукоксовых печей является их небольшая производительность, по сравнению с масштабами потребления топлива на электростанциях. Суточная пропускная способность печей существующих конструкций не превышает 250—300 т топлива, т. е. выход полукокса из одной печи, в среднем, составляет 125—150 т/сутки, или 5—6 т/час. Современный же мощный паровой котел на 160—200 т пара потребляет 25—30 т полукокса в час, т. е. для его обслуживания понадобится 4—5 печей с габаритами каждой из них, не уступающими габаритам самого котла. Капитальные затраты на сооружение большого числа громоздких печей будут весьма велики, что неблагоприятно отразится на экономике производства. Кроме того, при комплексном энергохимическом использовании топлива на действующих электростанциях такие сооружения могут вызвать большие затруднения.

Следовательно, одной из основных задач для рационального топливоиспользования является создание высокопроизводительных полукоксовых печей.

Время, необходимое для полукоксования, определяется, в основном, скоростью прогрева топлива до заданной температуры (500—600°). Так как теплопроводность его мала, время прогрева резко снижается с уменьшением размера частиц. При переработке крупных кусков топлива или брикетов в шахтных печах период полукоксования составляет обычно несколько часов, а при мелкозернистом топливе сокращается в 10—20 раз. Кроме того, применение мелкозернистого материала в полукоксовых печах расширит возможности комплексного использования различных сортов топлива, устраняя необходимость их брикетирования.

В заграничной практике пока нет примеров удачного разрешения задачи интенсивного полукоксования мелкозернистого топлива. Производительность наиболее известных печей Борзиг-Гейсен с внешним обогревом невелика, — от 1 до 2,5 т полукокса в час.

В Энергетическом институте Академии наук СССР, по инициативе руководителя лаборатории газификации А. Б. Чернышева, была начата разработка методов интенсификации процесса полукоксования

для создания малогабаритных полукоксовых печей, обладающих производительностью, соизмеренной с потребностью в топливе современных мощных паровых котлов.

Возможности интенсификации полукоксования при внешнем обогреве шихты через стенку весьма ограничены. При внутреннем обогреве печи газовым теплоносителем требуется разработать способ полукоксования мелкозернистого топлива во взвешенном состоянии. Лаборатория газификации занялась разработкой способа полукоксования мелкозернистого топлива с внутренним обогревом твердым теплоносителем по оригинальной схеме (рис. 1), предложенной старшим научным сотрудником И. С. Галынкер.

Предназначенное для полукоксования мелкозернистое топливо непрерывно поступает из бункера 1 через загрузочный аппарат сверху в камеру полу-

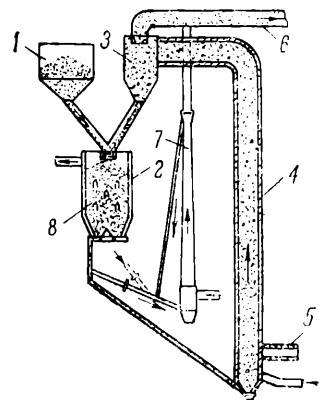


Рис. 1. Схема установки Энергетического института Академии наук СССР для полукоксования мелкозернистого топлива.

коксования 2. Сюда же из бункера-сепаратора 3 попадает полукокс, нагретый до температуры 700—750°. Загрузочный аппарат обеспечивает хорошее перемешивание топлива и горячего полукокса. При отдаче избыточного тепла, вносимого полукоксом, частицы топлива нагреваются до требуемой температуры и выделяют летучие продукты. Полукоксовый газ с парами смолы и других жидких продуктов выводится из средней части камеры 2 через ряд коробчатых газоотводов, не имеющих дна, 8. Образовавшийся полукокс из нижней части камеры 2 подается в вертикальную пневмотранспортную и нагревательную трубу 4. Транспорт полукокса осуществляется путем подачи в трубу воздуха. В трубе происходит частичное сгорание полукокса и повышение его температуры до 700—750°C. Процесс горения можно регулировать путем подачи в трубу некоторого количества дымовых газов и с помощью специальной горелки 5. Из пневмотрубы поток газа и нагретого полукокса направляется в бункер-сепаратор 3, в котором осаждаются более крупные частицы полукокса, поступающие затем обратно в камеру 2, в качестве твердого теплоносителя. Мелкие частицы полукокса уносятся газовым потоком по трубопроводу 6 в топку парового котла. Регулирование количества полукокса, подаваемого в топку котла, можно осуществить путем изменения степени сепарации

полукокса в бункере 3 или подачей части полукокса через пневмомельницу 7, минуя нагревательную трубу. Таким образом, количество полукоксовой пыли, отводимой из циркуляционной системы, приводится в соответствие с количеством загружаемого

сленные эксперименты с фракциями угля и фрезерного торфа от 1 до 7 мм показали, что в лабораторных условиях время прогрева и выделения основной массы летучих составляет от 3 до 8 мин., т. е. процесс полукоксования протекает весьма интенсивно.

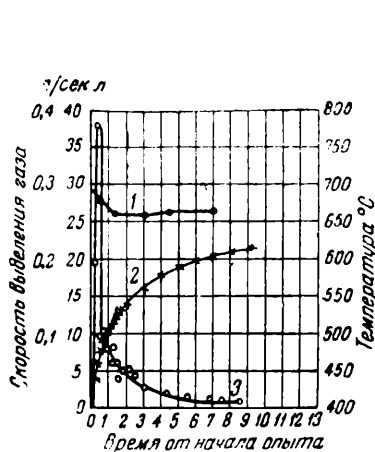


Рис. 2. Время и скорость выделения летучих при прогреве засыпки из частиц подмосковного угля (6—7 мм) нагретым полукоксом. 1 — температура; 2 — количество газа; 3 — скорость газовыделения.

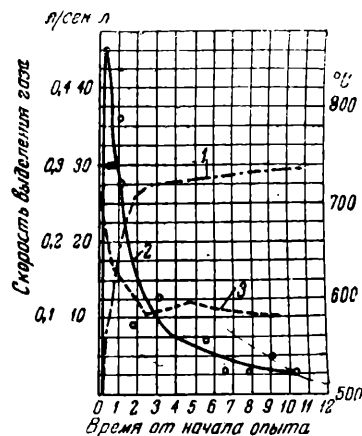


Рис. 3. Время и скорость выделения летучих при прогреве засыпки из фрезерного торфа нагретым полукоксом. 1 — температура; 2 — количество газа; 3 — скорость газовыделения.

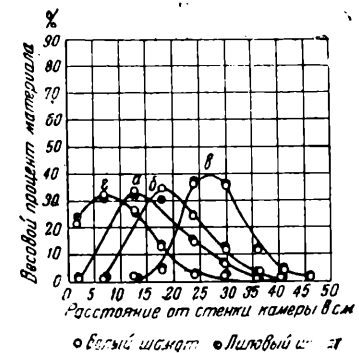


Рис. 4. Результаты испытаний модели аппарата для загрузки и смешения топлива и теплоносителя.

свежего топлива и с нагрузкой парового котла.

В лаборатории газификации, при участии лаборатории физики горения, руководимой членом-корреспондентом Академии наук СССР А. С. Предводителевым, были проведены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования описанной схемы полукоксования, исследованы основные элементы схемы: процесс полукоксования при применении твердого теплоносителя, перемешивание топлива и теплоносителя при загрузке их в камеру полукоксования, нагрев полукоксованного теплоносителя в пневмотранспортной трубе и др. Большинство исследований проведено на лабораторных моделях, разработанных О. А. Цухановой. Для изучения процесса нагрева полукоксованного теплоносителя на одной из электростанций был сооружен специальный стенд с пневмотрубой, высотой 10 м.

Приводим результаты проведенных исследований.

Скорость процесса полукоксования определялась по скорости выделения газо- и парообразных продуктов при смешении свежего топлива с нагретым до 600—750°C твердым теплоносителем. Одновременно определялась скорость выравнивания температуры засыпки, характеризовавшая скорость прогрева частиц топлива. Опыты проводились с подмосковным углем и с фрезерным торфом.

Лабораторные эксперименты¹ показали, что скорость выделения летучих зависит от скорости прогрева частиц топлива. Характерные результаты показаны на рис. 2 и 3. При прогреве засыпки из частиц подмосковного угля (6—7 мм) за 3 мин. выделялось около 75% летучих (рис. 2); аналогичные результаты получались при прогреве засыпки из фрезерного торфа (рис. 3). За 6—8 мин. от начала опыта выделялось свыше 90% летучих. Многочи-

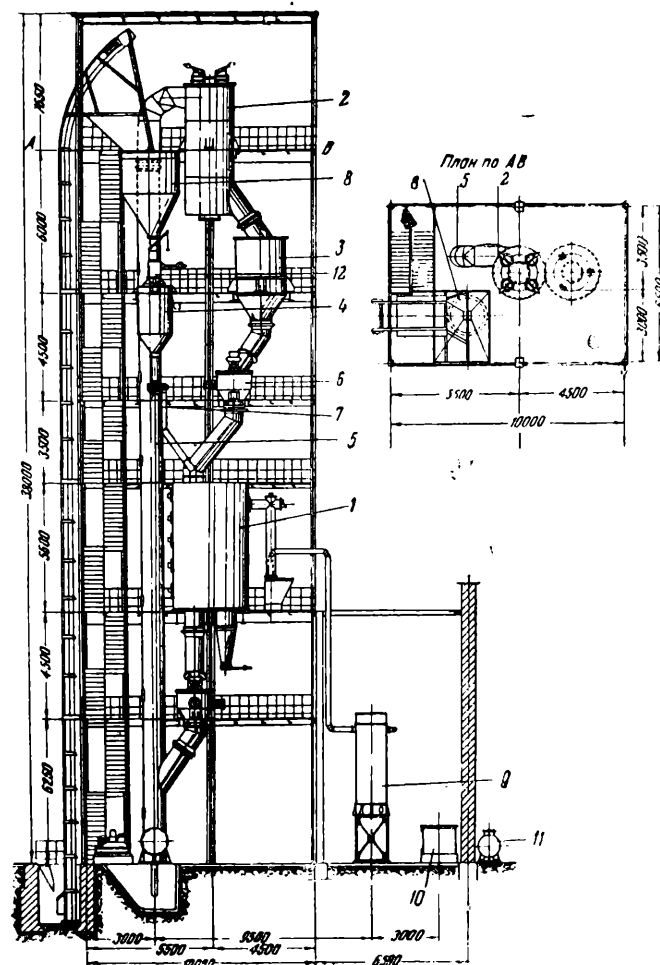


Рис. 5. Проект опытнопромышленной установки Энергетического института Академии наук СССР для полукоксования мелкозернистого топлива с твердым теплоносителем на электростанциях.

1 — печь, 2 — циклон, 3 — бункер горячего топлива, 4 — бункер холодного топлива, 5 — пневмотруба, 6 — горячий питатель, 7 — холодный питатель, 8 — бункер $v=20$ м³, 9 — газовый холодильник, 10 — отстойник, 11 — сборник, 12 — загрузочная коробка для угля

¹ Опыты проводились И. Г. Галынкер, О. А. Цухановой и Н. С. Мирингоф.

Скорость прогрева частиц топлива, а следовательно, и скорость выделения летучих, зависит от характера перемешивания частиц угля с теплоносителем — чем тщательнее перемешивание, тем больше скорость прогрева угля и выделения из него летучих.

Выходы газа и смолы сильно меняются в зависимости от температуры теплоносителя, конечной температуры смеси и времени контакта твердой и газовой фаз. С повышением температуры и увеличением времени контакта крекинг смолы значительно возрастает.

Смешение топлива и теплоносителя изучалось на плоской модели загрузочного аппарата в натуральную величину, снабженной передней стеклянной стенкой. В модель одновременно подавался из отдельных отсеков мелкозернистый материал разных цветов. Качество перемешивания определялось визуально через стеклянную стенку и статистическим методом — путем отбора проб по сечению при помощи заранее установленных сборников с ячейками. На рис. 4 приведены кривые распределения частиц двух цветов по сечению камеры при различных положениях отражателей. Практически полное совпадение кривых почти во всех точках указывает на вполне удовлетворительное перемешивание материала.

Параметры процесса нагрева частиц полукокса в пневмотрубе могут быть определены расчетным путем на основании имеющихся данных по горению и теплопроводности угольных частиц. Прогрев частиц заканчивается в течение нескольких секунд. Уже первая серия опытов на стенде показала удовлетворительное совпадение расчетных параметров с экспериментальными данными.

Таким образом, экспериментальная проверка основных элементов схемы подтверждает теоретиче-

ские предположения о возможности осуществления весьма интенсивного процесса полукоксования мелкозернистого топлива с твердым теплоносителем. Результаты исследований были положены в основу разработки проекта опытнопромышленной установки (рис. 5), сооружение которой намечается на одной из электрических станций непосредственно перед фронтом парового котла.

Произведенные при проектировании технологические расчеты¹ дали высокий термический к. п. д. установки, так как непосредственное сочетание полукоксовой установки с паровым котлом сводит к минимуму тепловые потери. Сооружение установок для полукоксования мелкозернистого топлива по описанной выше схеме сильно сократит углемольные устройства; не исключена возможность и полного их устранения, что можно будет влиять только в процессе эксплуатации. Далее, в топках паровых котлов будет поступать высоконагретое топливо стандартного качества, что должно повысить надежность работы котельных агрегатов.

Комплексное энергохимическое использование топлива на электростанциях — большая народнохозяйственная проблема. В области топливоиспользования наступает новый этап развития, и электростанции, являющиеся важной базой технического прогресса, должны стать централизованным источником не только электрической и тепловой энергии, но и ценного химического сырья и газа для ряда отраслей народного хозяйства Советского Союза.

¹ См. ниже статью И. С. Галынкера, Р. Н. Питина и И. Л. Фарберова.

Расчет процесса полукоксования подмосковного угля и топлива с твердым теплоносителем

Канд. техн. наук И. С. ГАЛЫНКЕР, Р. Н. ПИТИН и
И. Л. ФАРБЕРОВ

(Члены Общества энергетиков)

В настоящей статье дается методика расчета процесса полукоксования с твердым теплоносителем.

В качестве исходного топлива взяты подмосковный уголь и торф. Характеристика сухого топлива указана в табл. 1.

Таблица 1

Топливо	Состав в % по весу						$Q_{\text{н}}^{\text{с}}$ кал/кг	$Q_{\text{в}}^{\text{с}}$ кал/кг
	C ^с	H ^с	O ^с	S ^с	N ^с	A ^с		
Подмосковный уголь	49,2	3,6	14,7	3,5	1,0	28,0	4640	4824
Торф	52,2	5,4	30,2	0,3	2,2	9,7	4832	5125

Выходы и составы продуктов полукоксования приняты по соответствующим средним величинам, полученным в промышленных установках на печах с внешним обогревом. Эти величины приведены в табл. 2—5.

Таблица 2

Выходы продуктов полукоксования на сухое топливо
в процентах по весу

Топливо	Полукокс	Смола	Пирогенетическая вода	Газ	
				%	м³/т
Подмосковный уголь	77,1	6,0	8,1	8,8	82
Торф	45,0	10,0	13,0	32,0	273

Таблица 3

Характеристика швельгаза

Топливо	Состав в % по объему							$Q_{н'}$ кал/м ³	$Q_{в'}$ кал/м ³	γ , кг/м ³
	CO ₂	H ₂ S	CnHm	CO	H ₂	CH ₄	N ₂			
Подмосковный уголь . . .	19,5	18,0	2,5	10,0	18,5	25,5	6,0	4310	4760	1,078
Торф	37,0	0,0	1,5	15,5	20,5	19,5	6,0	2840	3132	1,172

Таблица 4

Характеристика смолы

Топливо	Состав в % по весу					$Q_{н'}$ кал/кг	$Q_{в'}$ кал/кг
	C	H	O	N	S		
Подмосковный уголь . .	80,0	10,0	7,5	0,8	1,7	8745	9273
Торф	80,5	9,7	8,6	1,1	0,1	8635	9158

Таблица 5

Характеристика полукокса

Топливо	Состав в % по весу						$Q_{н'}$ кал/кг	ad , кал/кг
	C	H	O	N	S	A		
Подмосковный уголь . .	54,2	1,9	5,4	0,5	1,7	36,3	4860	4960
Торф	73,8	3,2	0,7	0,1	0,6	21,6	6829	7002

Таблица 6

Баланс продуктов полукоксования на 100 кг сухого подмосковного угля

Наименование	C	H	O	S	N	A	Σ
П р и х о д							
Подмосковный уголь . .	49,2	3,6	14,7	3,5	1,0	28,0	100,0
Р а с х о д							
Полукокс	41,8	1,5	4,15	1,3	0,35	28,0	77,1
Смола	4,8	0,6	0,45	0,1	0,05	—	6,0
Пирогенетическая вода	—	0,9	7,20	—	—	—	8,1
Газ	2,6	0,6	2,90	2,1	0,60	—	8,8
Σ	49,2	3,6	14,70	3,5	1,00	28,0	100,0

Таблица 7

Баланс продуктов полукоксования на 100 кг сухого торфа

Наименование	C	H	O	S	N	A	Σ
П р и х о д							
Торф	52,20	5,40	30,20	0,30	2,20	9,7	100,0
Р а с х о д							
Полукокс	33,18	1,46	0,33	0,29	0,04	9,7	45,0
Смола	8,05	0,97	0,86	0,01	0,11	—	10,0
Пирогенетическая вода	—	1,44	11,56	—	—	—	13,0
Газ	10,97	1,53	17,45	—	2,05	—	32,0
Σ	52,20	5,40	30,20	0,30	2,20	9,7	100,0

Таблица 8

Балансы теплотворностей подмосковного угля, торфа и продуктов их полукоксования

Наименование	Подмосковный уголь		Торф	
	по низ-шему пределу	по выс-шему пределу	по низ-шему пределу	по выс-шему пределу
	кал/кг топлива	%	кал/кг топлива	%
П р и х о д				
Сухое топливо . .	4640	100,0	4824	100,0
Р а с х о д				
Полукокс	3750	80,0	3330	79,4
Смола	532	11,5	557	11,5
Газ	354	7,6	391	8,1
Σ	4636	99,9	4778	99,0
Невязка	+4	0,1	+46	1,0
Σ	4640	100,0	4824	100,0

На основе приведенных данных составлен элементарный баланс полукоксования на 100 кг сухого топлива (табл. 6 и 7).

В табл. 8 указаны балансы теплотворностей подмосковного угля, торфа и продуктов их полукоксования.

Полученные величины невязки, очевидно, представляют собой экзотермическое тепло полукоксования по низшему и высшему пределам и соответствуют экспериментальным данным по сухой перегонке бурых углей и торфов.

Тепловой баланс камеры полукоксования на 100 кг топлива (по высшему пределу) составлялся для двух режимов работы:

режим А — перепад температур теплоносителя полукокса в камере полукоксования с 600°C до 500°C, и

режим *Б* — перепад температур теплоносителя-полукокса в камере полукоксования с 700°C до 550°C.

После приравнивания расходной части теплового баланса приходной и решения полученного уравнения относительно x , общее выражение для количества необходимого теплоносителя-полукокса в килограммах на 100 кг рабочего топлива в зависимости от влажности исходного топлива имеет следующий вид:

$$x = c + dw \quad (1)$$

где:

x — количество необходимого теплоносителя-полукокса в кг на 100 кг рабочего топлива,

w — влажность топлива и

c и d — коэффициенты, легко определяемые из теплового баланса для различных режимов работ.

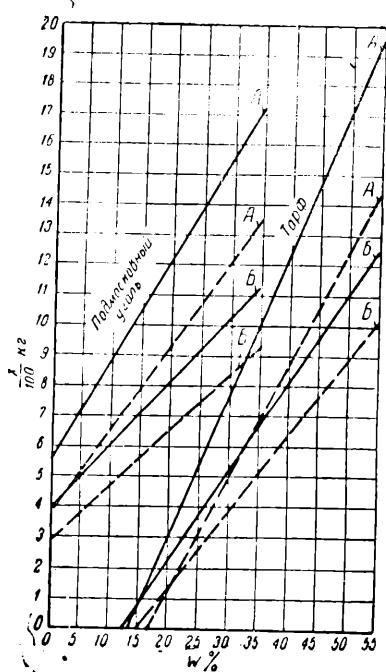


Рис. 1. Зависимость количества необходимого теплоносителя-полукокса от влажности исходного топлива

На рис. 1 даны величины x в зависимости от w для режимов *А* и *Б*; пунктирные линии представляют собой эти же зависимости в идеальном случае, т. е. при отсутствии тепловых потерь.

Как видно из рис. 1, тепловые потери существенно увеличивают количество потребного теплоносителя-полукокса, и поэтому при конструировании аппаратуры должно быть обращено особое внимание на их уменьшение. Тот факт, что на графике прямые для торфа пересекают положительную полуось абсцисс, объясняется большой величиной экзотермического эффекта пирогенетического разложения торфа. Это обстоятельство значительно уменьшает количество теплоносителя-полукокса, необходимого для полукоксования торфа.

По выходе из камеры полукокс распределяется на два потока. Одна часть поступает в пневмомельницу и далее идет на сжигание под котел. Другая часть попадает в пневмонагревательную трубу, где

за счет сгорания некоторого количества полукокса происходит процесс нагрева теплоносителя-полукокса до нужной температуры.

В дальнейших расчетах мы принимаем допущение, что в процессе полукоксования фракционный состав топлива и теплоносителя не изменяется. Такое допущение создаст наименее благоприятный случай, давая максимальную нагрузку на пневмомельницу. При наличии пылеобразования в камере полукоксования нагрузка на пневмомельницу уменьшается.

Приняв во внимание эти соображения, задаемся содержанием пыли в исходном топливе, равным $a\%$, причем под пылью понимаем фракцию топлива $< 0,2$ мм. В пневмонагревательную трубу поступает x кг теплоносителя-полукокса (обеспыленного) и b кг полукокса с пылью, всего $(x + b)$ кг.

Для составления материального и теплового баланса пневмотрубы был произведен расчет процесса горения полукокса при различных коэффициентах избытка воздуха.

Для определения количества полукокса, которое необходимо подать в пневмонагревательную трубу, составлены тепловые балансы для режимов работы *А* и *Б*.

Расчеты горения полукокса проводились для коэффициента избытка воздуха $\alpha > 1$ и $\alpha < 1$. При этом α подсчитывался не для всего полукокса, проходящего по пневмотрубе, а лишь для его количества, равного $b \left(1 - \frac{a}{100}\right)^1$, предназначенного для

сжигания. Естественно, что при $\alpha < 1$ в расходной части тепловых балансов появляется еще добавочная статья, учитывающая теплотворность газообразных продуктов, выходящих из пневмотрубы. Температура этих газов принята на 100° выше температуры теплоносителя-полукокса.

Приравнивая расходную часть тепловых балансов приходной, полученные уравнения решаются относительно b (количество полукокса, которое должно поступать в пневмотрубу). Заменяя в этих уравнениях x его значениями, выраженными через влажность рабочего топлива [уравнение (1)], получаем новое уравнение, устанавливающее зависимость b от ряда технологических и режимных факторов (влажности исходного топлива, содержания в нем пыли, коэффициента избытка воздуха при сгорании полукокса в пневмотрубе и температуры подогрева воздуха):

$$b = \frac{nw - m}{\left(1 - \frac{a}{100}\right)[c + \alpha(d + ft)] - k}, \quad (2)$$

где t — температура подогрева воздуха, а — n , m , c , d , f и k — коэффициенты, значения которых для различных топлив и режимов работы подсчитываются из тепловых балансов.

Для выяснения влияния влажности исходного топлива на количество полукокса, подаваемого (кроме полукокса-теплоносителя) в пневмонагревательную трубу, задаемся значениями $\alpha = 1,25$;

¹ Для расчета принят самый неблагоприятный случай, когда в трубе сгорает полукокс без пыли, т. е. $b \left(1 - \frac{a}{100}\right)$ кг, при этом в пневмотрубе надо нагреть максимальное количество пыли.

$\alpha = 20\%$; $t = 350^\circ\text{C}$. Полученная зависимость представлена на рис. 2.

Увеличение влажности топлива на 5% повышает, примерно, на 1 кг расход полукокса в пневмотрубе для нагрева теплоносителя на каждые 100 кг рабочего топлива. Влияние других факторов на расход полукокса определяется для двух случаев: 1) когда

Расходная часть состоит из следующих статей: 1) теплотворность смолы; 2) теплосодержание смолы; 3) теплотворность швельгаза; 4) теплосодержание швельгаза; 5) теплосодержание водяных паров; 6) теплосодержание золы сгоревшего полукокса; 7) теплотворность газообразных продуктов из пневмотрубы (эта статья имеет место при работе с $\alpha < 1$;

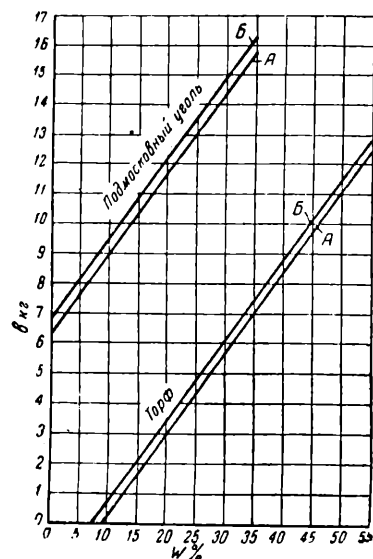


Рис. 2. Зависимость количества полукокса, подаваемого в пневмонагревательную трубу, от влажности исходного топлива

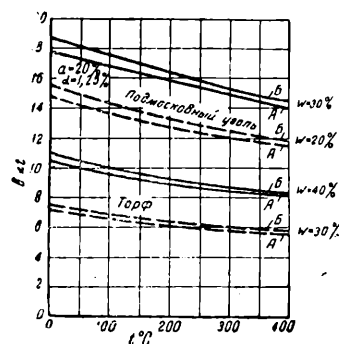


Рис. 3. Зависимость между температурой подогрева воздуха и количеством полукокса, поступающего в пневмонагревательную трубу

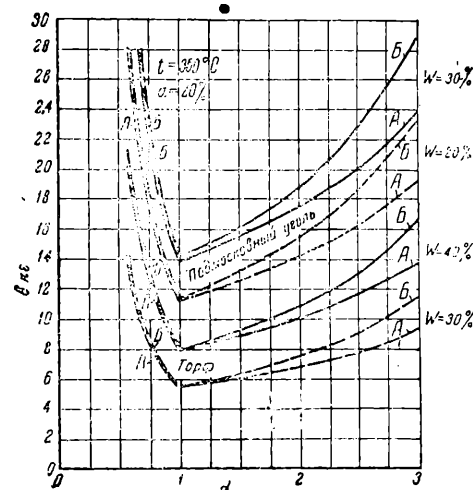


Рис. 4. Зависимость между коэффициентом избытка воздуха и количеством полукокса, поступающего в пневмонагревательную трубу

топливо предварительно подсушивается, — влажность подмосковного угля 20% и торфа 30% и 2) для влажности подмосковного угля 30% и торфа 40%.

Зависимость между количеством полукокса, поступающего в пневмотрубу, и температурой подогрева воздуха, подаваемого для его сжигания, показана на рис. 3. Подогрев воздуха, как видно из кривых, незначительно снижает расход полукокса. Очевидно, основная задача при подогреве воздуха состоит в том, чтобы ускорить воспламенение полукокса в пневмотрубе и сократить «холостое» пространство в ней — между точкой ввода дутья и участком воспламенения.

На рис. 4 показано влияние коэффициента избытка воздуха на количество полукокса, поступающего в пневмонагревательную трубу. Как видно, расход полукокса имеет минимальное значение при $\alpha = 1$ и повышается с увеличением α . Естественно, что при $\alpha < 1$, когда в продуктах горения появляется окись углерода, расход полукокса резко повышается с уменьшением α .

Существенная разница в расходах полукокса для режимов А и Б обнаруживается лишь при $\alpha > 1,5$.

При $\alpha < 1,5$ эти расходы близки между собой. Как и в других случаях большее влияние здесь оказывает влажность топлива. Увеличение влажности вызывает повышение расхода полукокса в пневмотрубе.

При составлении сводного теплового баланса полукоксевой установки в приходной части имеем: 1) теплотворность топлива и 2) теплосодержание воздуха.

при $\alpha > 1$ теплотворность газообразных продуктов из пневмотрубы равна 0; 8) теплосодержание газообразных продуктов из пневмотрубы; 9) теплотворность полукокса, выходящего из пневмомельницы; 10) теплосодержание полукокса, выходящего из пневмомельницы; 11) теплотворность полукоксевой пыли; 12) теплосодержание полукоксевой пыли; 13) тепловые потери в окружающую среду.

Данная полукоксевая установка предназначена для комбинированной работы с топкой парового котла. Поэтому считаем полезным то тепло, которое используется на стороне или поступает в топку парового котла, т. е. тепло по статьям 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 расходной части баланса. Смола и швельгаз используются на стороне. Термический к. п. д. определится как отношение суммы указанных статей расхода к приходу тепла.

Зависимость термического к. п. д. от влажности топлива для различных режимов представлена¹ на рис. 5.

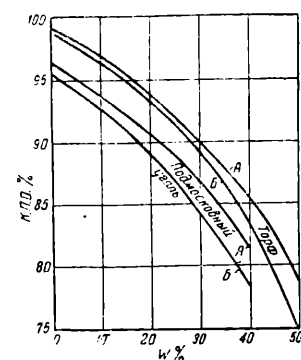


Рис. 5. Зависимость термического коэффициента полезного действия установки от влажности топлива

¹ При учете сравнительного снижения потерь в котельном агрегате с отходящими газами при комбинировании с полукоксевой установкой, к. п. д. последней возрастает в зависимости от влажности топлива на 5—10%.

З а к л ю ч е н и е

1. Как показывает рис. 1, для полукоксования подмосковного угля количество необходимого теплоносителя-полукокса выше чем для торфа.

2. Расход полукокса в пневмонагревательной трубе наиболее существенным образом зависит от влажности топлива.

3. Термический к. п. д. понижается с увеличе-

нием влажности топлива. При рабочей влажности подмосковного угля 30% и торфа 40% термический к. п. д. для этих топлив почти одинаков.

4. Режим *Б* (перепад температуры теплоносителя-полукокса в камере полукоксования с 700°C до 550°C) дает более низкий к. п. д., чем режим *А* (перепад температуры с 600°C до 500°C). Разница в к. п. д. для этих режимов увеличивается с повышением влажности топлива.

Обзор современного состояния промышленности полукоксования твердых топлив за границей

Инженер И. М. ГОИХРАХ

(Член Общества нефтяников)

По имеющимся данным¹, в Англии до войны подвергалось полукоксованию около 0,5 млн. *т* каменных углей. При этом получалось 380 тыс. *т* полукокса, 6 тыс. *т* сырого бензина и 37 тыс. *т* смолы.

Всего работало 13 установок. Установка в Болсвере мощностью 750 *т* угля в сутки была единственной, где осуществлялась полная переработка смолы с получением бензина, дизельного горючего, фенолов и прочих химических продуктов. Смола, выпускаемая другими установками полукоксования, направлялась на гидрирование.

Полукокк использовался как бездымное домашнее топливо.

Угли, применяемые для полукоксования, дают выход смолы 70—80 л на 1 *т* угля.

Типичная смола имеет следующую характеристику²: удельный вес при 15,5°C = 1,037; содержание воды 2,4%, фенолов и кислот 28,40%, температура вспышки = 60°C; отгон до 300°C = 47,6% (объемн.), остаток > 300°C = 52,4% (объемн.).

Во Франции³ на двух установках получали порошкообразный полукокк — в 1934 г. произведено 55 тыс. *т*. Основным их назначением было получение смолы и химических продуктов.

Пять других установок выпускали кусковой полукокк, который здесь являлся основным продуктом. Годовая производительность этих установок по углю 300 тыс. *т*.

Кроме того, во Франции осуществлялось полукоксование брикетов, так называемых шариков (агломерированных на мелочи тощих углей), используемых как бытовое топливо. Возможная годовая производительность этих установок 475 тыс. *т*.

В США были серьезно поставлены опытные работы по полукоксованию бурых и каменных углей⁴ и затем был построен ряд установок, на которых в 1934 г. получено до 25 тыс. *т* полукокса.

Возле Питсбурга сооружена опытнопромышленная установка по полукоксованию производитель-

ностью 220 *т* угля в сутки⁵. Полукокк используется как домашнее топливо. Получаемая смола содержит много пыли и малоценна (применяется при дорожном строительстве).

В условиях США полукоксование пока не получило широкого развития вследствие затруднений в сбыте получаемой продукции, с которой конкурируют нефтепродукты и природные газы.

В Германии промышленность полукоксования значительно развилась в период первой мировой войны; новый рост производства начался в 1930 г. Полукоксованию подвергались, главным образом, бурые угли. Каменные угли составляли всего 8—10%.

Для развития полукоксования бурых углей в Германии имелись особые предпосылки. Эти угли отличаются высокой влажностью, что отражается на экономике их перевозок и использования. Полукоксование облагораживает низкосортное топливо (особенно при предварительном его брикетировании), повышая его теплоценность и одновременно дает значительное количество смол, которые являются сырьем для гидрирования и получения в крупных масштабах искусственного жидкого топлива — бензина.

Полукокк используется для производства газа для промышленности синтеза углеводородов из окиси углерода и водорода, для промышленности связанного азота и для получения водорода для гидрирования угля и смол.

По официальным германским данным к 1938 году методом полукоксования перерабатывалось около 12,5 млн. *т* топлива (главным образом, бурого угля) в год. При этом получено около 650 тыс. *т* смолы и свыше 3 млн. *т* полукокса. В последующие годы эта промышленность продолжала развиваться и, по последним сведениям, только на девяти крупных предприятиях годовое производство в период второй мировой войны составляло: полукокса — 5,4 млн. *т* и смолы — 1,32 млн. *т*.

По ряду данных можно предполагать, что к 1944 г. промышленность полукоксования Германии выросла в 2—2,5 раза по сравнению с 1938 г., т. е. полукоксованию подвергалось от 25 до 30 млн. *т* угля.

¹ „Iron and Coal Trade Review“, 14/X 1938.

² Мало отличается от смолы Ленинско-Кузнецкого завода.

³ „Journal Usine à gaz“, № 1, 1936.

⁴ „Technik u. Wirtschaft“, 1939, стр. 109.

⁵ „Glückauf“, № 18, 1938.

Из полученных на упомянутых девяти заводах 1 320 тыс. *т* смолы, на гидрирование было направлено 770 тыс. *т*, а остальная смола подвергалась прямой разгонке и переработке фракций. При этом получено: 27 тыс. *т* бензина; 122 тыс. *т* дизельного топлива; 112 тыс. *т* флотского мазута; 39 тыс. *т* парафина; 12 тыс. *т* электродного кокса.

В Японии на трех заводах полукоксования перерабатывалось около 2 300 *т* угля в сутки. На двух заводах были установлены 300-тонные печи Лурги, а на третьем — реторты Тиссена. Два первых завода в дальнейшем намечалось расширить, установив на каждом до 20 печей.

Два завода полукоксования сооружены на Южном Сахалине. Один из них, работающий с 1935 г., имел мощность по перерабатываемому углю 800 *т/сутки*; второй, рассчитанный на мощность 2 000 *т/сутки*, недостроен и был введен в эксплуатацию на производительность 700 *т* угля в сутки с получением только полукокса, смолы и газового бензина. На обоих сахалинских заводах установлены 200-тонные и 300-тонные печи Лурги. Полукоксованию подвергается обогащенный уголь, с содержанием летучих 42% и золы 5—6%, класс угля от 9 до 38 мм, выход смолы около 9%.

Получаемый полукокс (выход 55% от угля), в основном, вывозился в Японию. Небольшая часть его направлялась на заводы синтеза и на газогенераторный автотранспорт, остальное количество брикетировалось, причем в качестве связующего применялись отходы сахарной промышленности. Брикеты получались цилиндрической формы величиной с консервную банку, с десятью круглыми сквозными отверстиями. Брикеты использовались для бытовых целей.

Смола подвергалась довольно глубокой переработке. Выход продуктов составлял (в процентах от угля): парафин 0,28%, пек 2,4%, мазут 3,8% двух сортов (для речного флота), крезолы 0,23%, легкие масла 0,8%, которые также шли для двигателей речного флота, наконец, бензин (около 1,0%) и газ. Чрезвычайно малый выход крезола объясняется несовершенством производства, значительными отходами и потерями.

Полукоксование сланцев получило развитие в Шотландии, Маньчжурии и Швеции.

Шотландия является первой страной, начавшей перегонять сланец в больших количествах. Для полукоксования применяются ретортные печи (Юнга-Бейльби и Брайсона). Максимальное развитие шотландская сланцевая промышленность достигла, примерно, к началу первой мировой войны. Годовая переработка сланца в этот период составляла свыше 3 млн. *т*, причем получено около 9% сланцевого дегтя (273 тыс. *т*).

Сланцевый полукокс, не имеющий особой ценности, шел в отвалы. В результате переработки сланцевого дегтя было получено: легкого бензина 2 тыс. *т*, среднего бензина 16 тыс. *т*, горючего масла (осветительного и для дизелей) 71 тыс. *т*, газового масла (для карбюрирования газа) 43 тыс. *т*, смазочных масел 36 тыс. *т*, парафина 25 тыс. *т*. Кроме того, выработка сульфата аммония при перегонке сланца составляла свыше 50 тыс. *т* в год.

В настоящее время запасы сланца с выходом смолы в 9% иссякли и заводы вынуждены перейти на переработку более бедных сланцев (6% смолы). Это обстоятельство, а также удорожание добычи

привели к тому, что старинная шотландская сланцевая промышленность начала постепенно сокращаться, и в 1942 г. был переработан лишь 1 млн. *т* сланца. Из всех сланцеперегонных заводов остались только четыре, причем они вошли в состав Англо-Иранской нефтяной компании и используются не только для получения и переработки смолы, но и переработки привозной нефти. Во всяком случае, трудно ожидать, чтобы в ближайшем будущем шотландская сланцевая промышленность возродилась.

В Маньчжурии, в районе Фушуня, около Мукдена, имеются крупные угольные залежи, добыча которых производится открытым способом (разрезы). Над углем залегают мощные пласты сланца.

Этот сланец — низкосортный (лабораторный выход смолы составляет, примерно, 5—6%) и раньше шел в отвал. Первый завод полукоксования начал работать в 1930 г.

В последнее время мощность двух фушуньских заводов (примыкающих друг к другу) достигла 28 тыс. *т* перерабатываемого сланца в сутки (около 9 млн. *т* в год). Средний выход дегтя составляет 4,7%, или около 350—400 тыс. *т* в год.

Производительность по сланцу отдельных наиболее мощных генераторов достигает 180 *т/сутки*.

Из смолы получается богатый ассортимент моторных и смазочных масел и парафина.

В Швеции первые опыты по полукоксованию сланцев начались в 1932 г., а первое промышленное предприятие с ретортами системы Берга (мощностью 10 тыс. *т* смолы в год) сдано в эксплуатацию в 1941 г. В дальнейшем, в связи с затруднениями в получении извне нефтепродуктов, правительство приняло меры к сильному развитию полукоксования. Эта промышленность была сконцентрирована в Кварнторпе, в районе Нерке, где имеется месторождение наиболее богатого сланца (выход смолы до 6%), с запасами около 1,5 млрд. *т*. Общая производительность предприятия в Кварнторпе — 80 тыс. *т* сланцевой смолы в год.

Полукоксование ведется в ретортных печах системы Берга, системы Хультман-Густавсон, в тоннельных печах и, наконец, по новому оригинальному методу Льюнгстрема (подземное полукоксование).

Сланцевая смола подвергается переработке с получением 35 тыс. *т* бензина и 45 тыс. *т* лигроина и керосина и разных масел в год. Кроме того, завод производит до 25 тыс. *т* в год элементарной серы, путем очистки сланцевого швель-газа от сероводорода, и отпускает близлежащему г. Оребру 13 тыс. *м³* высококалорийного газа в час, удовлетворяя полностью потребность в бытовом газе.

* * *

Из многочисленных конструкций печей для полукоксования угля наиболее современными и мощными являются печи с внутренним обогревом системы Лурги и с внешним обогревом системы Гейсена.

Печь Лурги состоит из двух шахт (рис. 1). Это — трехзонная печь: первая — зона подсушки угля, вторая — зона полукоксования угля и третья, небольшая, — зона охлаждения полукокса. Уголь подается элеватором или по транспортерам через загрузочные вагонетки в загрузочную коробку, откуда попадает в первую зону печи. Для подсушки угля применяется горячий дымовой газ (300—350°C) в смеси с холодным рециркулятом так, чтобы тем-

пература топлива при переходе в следующую зону была около 200°C . Циркуляция дыма в первой зоне осуществляется вентилятором, который забирает часть дыма-рециркулята, а также горячий дымовой газ из специальной топки. Выделившиеся в результате подсушки водяные пары и газы бертинирования удаляются в атмосферу.

Наличие зоны подсушки увеличивает производительность печи и уменьшает количество теплоносителя, который требуется для процесса полукоксования в печах с внутренним обогревом. При

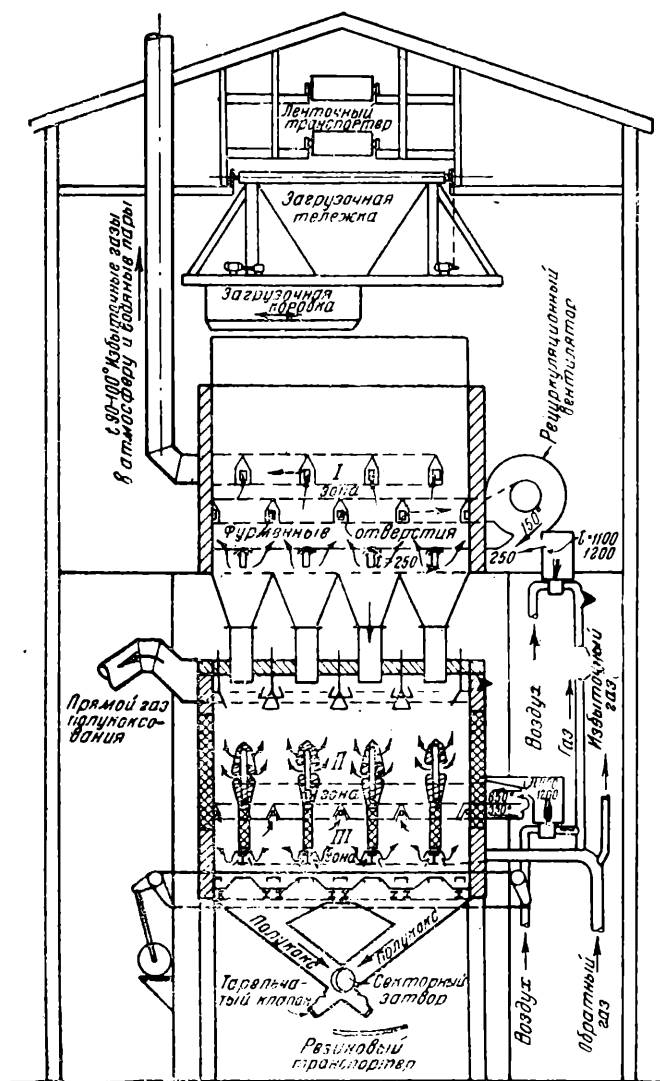


Рис. 1. Печь Лурги

этом циркулирующий в зоне полукоксования газ-теплоноситель имеет значительно более высокую теплотворность и содержит много больше газового бензина, чем в обычных шахтных печах.

В зоне полукоксования процесс ведется при температурах $550\text{--}600^{\circ}\text{C}$. Необходимое тепло получается при сжигании обратного газа в специальной топке, с добавкой газа (с температурой 350°C) из зоны охлаждения. Теплоноситель имеет среднюю температуру $650\text{--}700^{\circ}\text{C}$ и подается во вторую зону. Продукты полукоксования: швельгаз, пары смолы, бензина и пр., объемом $600\text{--}800\text{ м}^3$ на тонну угля, выходят из этой зоны и направляются на охлаждение и конденсацию.

Полукокк поступает в третью зону, где охлаждается холодным обратным газом. Этот газ, имеющий температуру около 25° , нагревается до 350° и направляется, как указывалось, в смеси с горячими дымовыми газами во вторую зону печи. Смешение достигается за счет эжекции, создаваемой горячими дымовыми газами, выходящими через специальное сопло, установленное после топки (камеры) сжигания обратного газа. В наиболее мощных печах смешение производится специальными вентиляторами.

Температура охлажденного полукокка равна $120\text{--}150^{\circ}\text{C}$. Равномерная выгрузка его из печи достигается при помощи скребка (скрепера), который выдает полукокк (через отверстия) в промежуточные бункеры. Отсюда он попадает через тарельчатый затвор на резиновый транспортер и далее — на склад.

Как уже упоминалось, печь Лурги имеет две самостоятельных шахты. Обе они обслуживаются общей газовой топкой для первой зоны и второй общей топкой — для второй зоны. Как топки, так и два вентилятора, осуществляющие рециркуляцию дымовых газов в первой зоне, расположены между шахтами.

Поступающий из зоны полукоксования газ расходуется: $70\text{--}75\text{ м}^3$ на тонну угля — для сжигания и получения дымовых газов для первой зоны; 95 м^3 — для сжигания и получения дымовых газов для второй зоны; 350 м^3 — для охлаждения полукокка. Избыточного газа получается $75\text{--}80\text{ м}^3$ на тонну угля, теплотворность около $2\,000\text{ кал/м}^3$.

Расход тепла на процесс полукоксования около 400 кал на 1 кг угля.

Особенностями печей Лурги являются: 1) высокая производительность агрегата, позволяющая перерабатывать до 300 т угля в сутки и 2) сравнительно небольшое количество теплоносителя, требующееся для зоны полукоксования, высокая теплотворность газа и значительное содержание в нем газового бензина.

Печь Гейсена (рис. 2) состоит из трех цилиндров. Средний металлический цилиндр, стенки которого имеют волнистую форму, вращается, делая один оборот в 3 мин. (мощность мотора 4 кВт)¹. Второй наружный металлический цилиндр, снабженный зубцами, которые входят во впадины среднего цилиндра, — неподвижен. Наконец, третий, внутренний, шамотный цилиндр представляет собой топочную камеру.

Для печей Гейсена могут применяться только неспекающиеся измельченные угли размером от 3 до $15\text{--}20\text{ мм}$. Уголь поступает из бункера через загрузочное устройство сверху печи на волнистую поверхность вращающегося цилиндра и, постепенно перемещаясь с волны на волну, доходит до самого низа печи. К этому времени уголь уже превращается в полукокк, который удаляется соответствующим транспортерным устройством внизу печи.

Во внутреннем, шамотном, цилиндре имеется горелка, куда подаются швельгаз и воздух. Образующиеся в результате горения дымовые газы поднимаются внутри камеры, затем опускаются вниз и омывают стенку вращающегося цилиндра с внутренней стороны, передавая тепло через стенку

¹ В новой конструкции печи Борзиг-Гейсен средний вращающийся цилиндр имеет гладкую стенку.

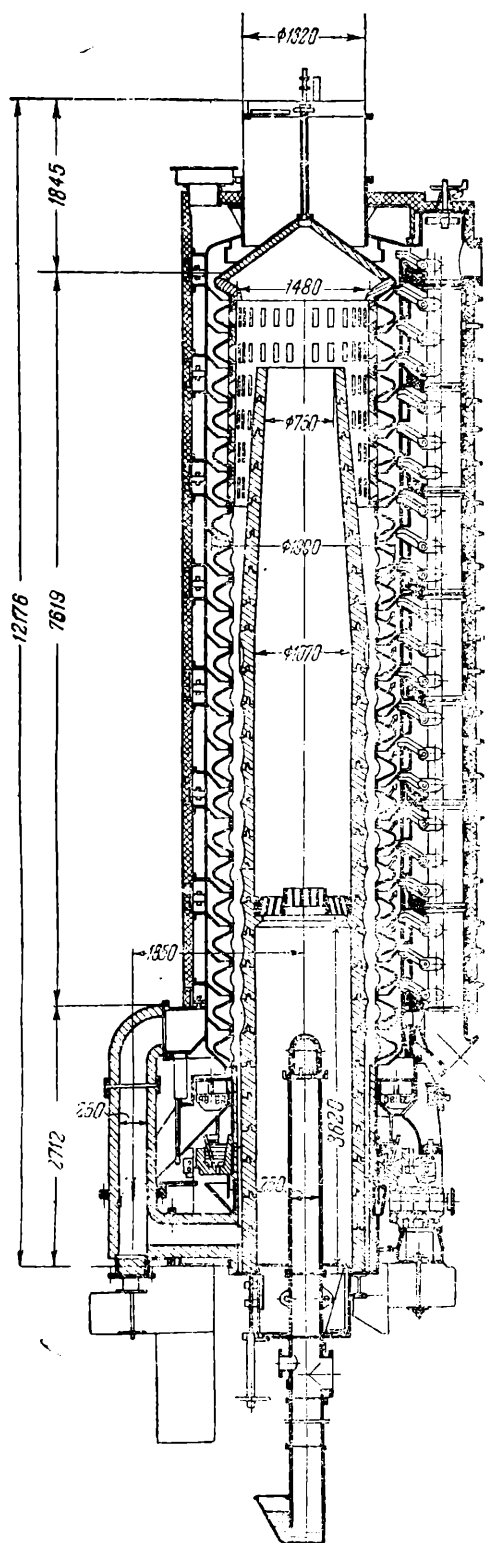


Рис. 2. Печь Гейсена

цилиндра углю. Дымовой газ переходит по соответствующим дымоходам во внешний канал, между наружным цилиндром и кожухом печи, нагревая неподвижный цилиндр. При этом дополнительное тепло передается углю от стенки и зубцов наружного цилиндра. Отработанный дымовой газ, дойдя до верха печи, удаляется в атмосферу. Выделяющиеся в пространстве между наружным и вращающимися цилиндрами продукты полукоксования (парогазовая смесь) удаляются отсюда снизу печи.

Приведем некоторые данные по печи Гейсена: производительность по углю 70—90 т/сутки при

влажности угля до 15%; расход тепла на процесс полукоксования 400 кал/кг угля; теплотворность газа 4 000 кал/м³; температура дымовых газов при выходе из печи 330°C.

Отличительной особенностью печей Гейсена является повышенный, по сравнению с другими агрегатами, выход смолы из угля (100% и выше от лабораторного по Фишеру) и малый объем парогазовой смеси, что позволяет иметь небольшую конденсационную аппаратуру, по сравнению с печами внутреннего обогрева.

Печные агрегаты для полукоксования сланцев

Конструкция генератора Пинча дана на рис. 3. Железный кожух футерован внутри фасонным огнеупором, который образует две зоны. Загрузка производится сверху. Дробленый сланец попадает в верхнюю зону — полукоксования, где после подсушки подвергается полукоксованию при 450—600°C.

Затем, пройдя через суженную часть шахты генератора, сланцевый полукокк поступает в нижнюю зону. Там осуществляется процесс газификации при температуре 800—1000°C путем подачи снизу паровоздушного дутья. Поддон генератора, на который попадает зола, вращается с помощью электропривода; зола вывозится в отвал. Зона полукоксования обогревается горячим генераторным газом, поступающим из зоны газификации. Парогазовая смесь продуктов полукоксования отсасывается вверх генератора при температуре 200°C.

Производительность генератора Пинча по сланцу 30—35 т в сутки. В последнее время была разработана

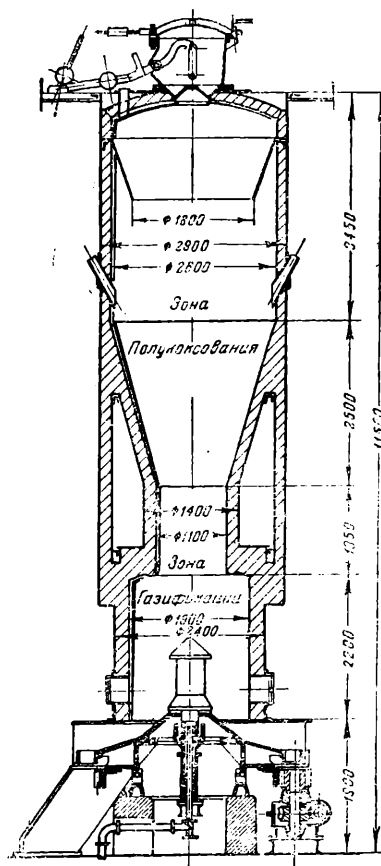


Рис. 3. Генератор системы Пинча

конструкция генератора производительностью 100 т/сутки, которая проходит заводские испытания.

На фушуньском заводе (Маньчжурия) производительность аналогичных генераторов достигает 180 т сланца в сутки. Их главное отличие (кроме увеличенных размеров и большей механизации) заключается в том, что полукоксовая зона обогревается не только генераторным газом, поступающим из зоны газификации, но и газом-теплоносителем. Этот газ после нагрева в кауперах при давлении 100—130 мм вод. ст. и температуре 700°C поступает по трубопроводу в фурменное кольцо, расположенное в нижнем поясе зоны полукоксования.

Описание тоннельных печей, получивших распространение в промышленности полукоксования сланцев, не приводится, учитывая знакомство большинства специалистов с этой конструкцией печей.

Выше упоминалось о новом оригинальном методе «подземного полукоксования», предложенном в Шве-

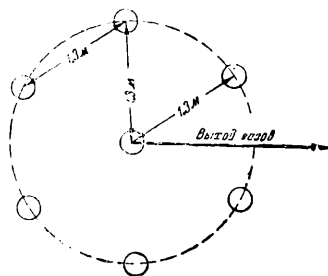


Рис. 4. Схема подземной переработки сланца по методу Льюнгстрема

ции Льюнгстремом. Сущность этого метода заключается в следующем. В районе месторождения сланца, залегающего на глубине 20—25 м, с поверхности земли пробуривают на пласт 6 скважин по окружности и одну в центре (рис. 4). Каждая из них диаметром 56 мм закрепляется обсадными трубами (в покрывающих породах), в которые (за исключением центральной скважины) вставляются внутренние трубы с дном диаметром 40 мм.

В трубы опускается по два электрода. Чтобы не было замыкания, внутренние трубы засыпаются кварцевым песком, образующим изолирующий слой между электродами. На поверхности электроды соединены с питающей электросетью переменного тока 150 в.

Прогрев каждого участка с 7 скважинами продолжается 5 месяцев. При этом достигается температура 325°C и начинается выделение паров смолы. Оно заканчивается в течение 1 месяца при температуре около 400°C. Таким образом, эксплуатация группы скважин продолжается, примерно, 6 месяцев.

Одновременно находится в эксплуатации несколько групп скважин, расположенных по фронту в 200 м.

Наличие плотного известняка над пластом сланца создает хорошие природные условия для термоизоляции и обеспечивает поступление паров смолы только через центральную скважину, откуда они отсасываются эксгаустером.

Выход смолы здесь несколько ниже по сравнению с печным методом; состав ее более легкий, чем смолы, получаемой в печах.

Подземное полукоксование сланцев уже вышло из стадии опытов и является промышленным производством, которое дает сейчас до 30 тыс. т сланцевой смолы в год.

Расход электроэнергии, ввиду необходимости прогрева огромной толщи сланца, составлял вначале около 7 тыс. квт/ч на 1 т смолы.

В настоящее время достигнуто значительное снижение расхода электроэнергии — до 4—5 тыс. квт/ч на 1 т смолы. Однако и этот расход очень велик, и промышленное применение описанного метода

объясняется, главным образом, наличием в Швеции огромных ресурсов дешевой электроэнергии, получаемой на гидроэлектростанциях.

Себестоимость 1 т сырой сланцевой смолы составляет, примерно, 500 шведских крон.

Вопрос о технологических схемах переработки первичных смол требует детального рассмотрения, выходящего за рамки этого обзора. Однако все же необходимо кратко обобщить данные по этому вопросу.

Одним из основных методов переработки буроугольных, каменноугольных, сланцевых и торфяных смол является гидрирование, при котором выходы качественного бензина из смолы достигают 75%. Если в смоле содержится значительное количество легких фенолов, они предварительно извлекаются.

Вторым, распространенным методом является прямая разгонка смол на отдельные фракции, их переработка, очистка и ректификация. При этом из отдельных фракций выделяются фенолы, парафин, воски (из торфяной смолы). Применяются также дополнительные процессы, например: крекинг смоляных продуктов с полимеризацией, получение из тяжелого остатка после разгонки смолы битума, электродного кокса, переработка отдельных смоляных фракций на креолин, ихтиол (из сернистых сланцевых смол) и пр.

Из новых методов переработки смол следует отметить селективное растворение. Приведем более детальные данные по технологической схеме переработки буроугольной первичной смолы на одном из крупных германских заводов (около 200 тыс. т смолы в год), где применяются процессы селективного растворения (экстракции).

Сырая смола подвергается фугованию и разгонке с получением масла и тяжелого остатка, который подвергается разгонке под вакуумом. При этом получают фракции парафиновой массы и мягкий пек (температура размягчения 50°C). Последний подвергается дистилляции в атмосфере инертного газа, что дает дополнительное количество парафиновой массы и твердый пек (температура размягчения 90—110°C). Этот пек коксуется в печах с получением электродного кокса и смолы коксования, добавляемой к фугованной смоле.

Фракции парафиновой массы подвергаются редистилляции. Получаемый при этом мягкий пек добавляется к основному количеству мягкого пека, а парафиновый редистиллят направляется на дальнейшую переработку. В результате получают мягкий и твердый парафины.

При выработке парафина отходами являются креозотовое масло и сырое дизельное топливо. К полученному при первой разгонке фугованной смолы маслу добавляется креозотовое. Смесь поступает на экстракцию бензином с получением при этом топливного масла (мазута) и сырого дизельного топлива. Все сырое дизельное топливо после обработки отбеливающими землями дает товарное дизельное топливо.

Средние выходы продукции из сырой смолы: дизельное топливо 31%; флотский мазут 33%; парафин 12,5%; электродный кокс 6%.

паличие пережима диаметром 900 мм между швельшахтой и генератором. Таким образом, предполагалось затруднить попадание газа и воздуха в швельшахту, присутствие которых в последней могло вызывать нежелательные явления горения сланца и крекинга смолы.

Затем был устроен кирпичный свод сверху газогенератора. В этой печи генераторный газ инжектировался газом из регенераторов до поступления в фурменное кольцо.

Для повышения производительности печей они были реконструированы: свод

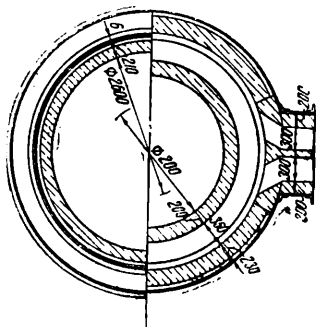
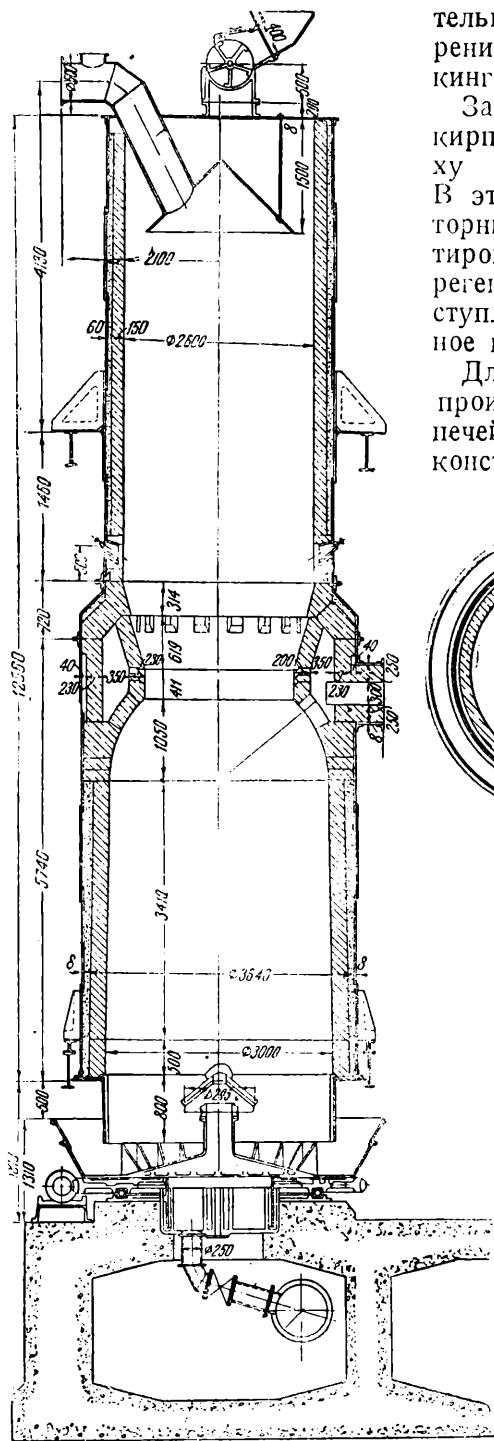


Рис. 2. Общий вид генератора без свода ($Q = 100$ т/час)

и пережим ликвидированы и за счет этого увеличена высота генератора и швельшахты. Генераторный газ поступал непосредственно в швельшахту, и здесь уже смешивался с газом из регенератора. Производительность печей удалось довести до 100 т/сутки.

В 100-тонной печи наблюдалось зависание сланца у фурменного кольца. Можно предполагать, что это обуславливалось высокой температурой газа у стенок, вызывавшей бурное выделение остаточной смолы из полукокса, ее крекинг и связанное с этим слипание кусков полукокса.

В дальнейшем печь была изменена: несколько сужено сечение в зоне фурменного кольца и в верхней части газогенератора установлен кирпичный свод с отверстиями для прохода сланца. Газ из генератора устремлялся в фурменное кольцо по боковым отверстиям и там смешивался с горячим газом из регенераторов, в результате чего тепло хорошо распространялось по швельшахте. Однако вследствие задержек в ходе сланца над сводом газогенератор приходилось часто шуровать и свод быстро разрушался.

При проектировании 150-тонной печи завод вернулся, в основном, к первоначальной конструкции 50-тонной печи. Были лишь увеличены размеры швельшахты и газогенератора.

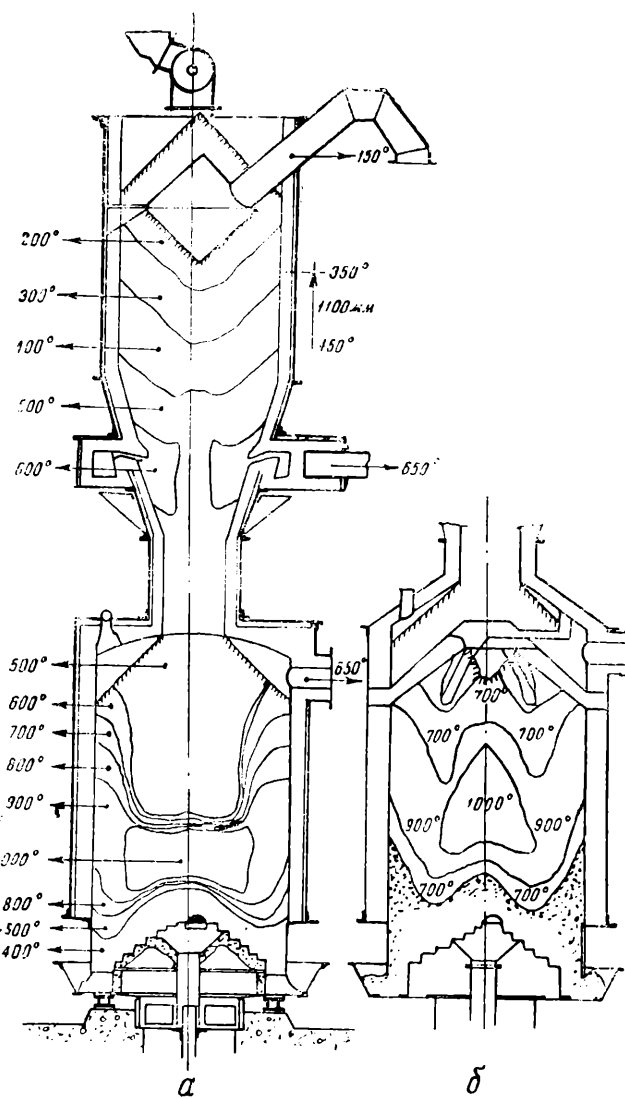


Рис. 3. Схема перегонного цеха сланца

Таким образом, конструкция этой новой печи явилась результатом проверки работы ряда существующих: от 50-тонной печи была взята без изменения конструкция свода, а от 100-тонной — способ смешения газов в фурменном кольце.

В 1941—1942 гг. в Фушуне был построен второй (восточный) сланцеперегонный завод, состоящий из 60 газогенераторных печей с производительностью 180 т сланца в сутки. Конструктивно они не отличаются от 150-тонных печей, а имеют лишь несколь-

ко большие высоту и диаметры газогенератора и швельшахты.

В 1943 г. на западном и восточном заводах было переработано около 9 000 тыс. *т* сланца.

По данным лабораторного исследования, выделение смолы из фушуньского сланца в процессе сухой перегонки происходит в интервале температур 350—470°C. При своем движении по шахте сланец должен оставаться в зоне указанных температур в течение определенного времени, зависящего от крупности кусков. Летучие вещества начинают выделяться с поверхности сланцевых кусков, нагревающейся в первую очередь; постепенно происходит повышение температуры к центру кусков. Время, необходимое для завершения процесса сухой перегонки центральной части кусков сланца, пропорционально их размеру. Поэтому оптимальная производительность шахты сухой перегонки, с точки зрения максимального процента выхода смолы, зависит от величины зоны сухой перегонки и крупности сланца: чем мельче куски, тем выше могла бы быть производительность той же печи. С другой стороны, при внутреннем обогреве надлежит обеспечить равномерное распределение газотеплоносителя по сечению шахты. Сланец опускается быстрее в центральной части шахты и медленнее — в периферийной; поэтому через центральную часть необходимо пропускать больше газа. Хотя конструкция ввода и распределения теплоносителя имеет решающее значение для соблюдения этого условия, однако очень важен также и размер кусков топлива. С точки зрения создания равномерной температурной зоны по сечению шахты кусковой сланец лучше мелкозернистого. Было установлено, что оптимальным является размер кусков 25—75 мм.

Для обеспечения в центре шахты необходимой для швелования зоны температур, с учетом понижения температуры газа за счет отдачи некоторого количества тепла сланцу, находящемуся у фурменного кольца, температура теплоносителя при входе в шахту была установлена ~ 600°C.

На рис. 3 представлены типичные графики распределения температур в швельшахте и в двух конструкциях газогенератора, полученные путем замера температур в опытной 50-тонной печи. Как видно, высота изотермических зон в швельшахте постоянна, а изотермические линии имеют плавный характер. Это указывает на равномерное прохождение теплоносителя, распространяющегося по сечению шахты в зависимости от скорости схода сланца. При повышении производительности печи увеличивается количество теплоносителя и сохраняется температура газа при выходе из печи.

Зона температур 350—450°, которая должна занимать основную часть швельшахты, имеет высоту 1 000 мм и объем 5,3 м³.

Для выяснения вопроса о необходимом времени пребывания сланца в зоне швелования на заводе был сделан опыт сухой перегонки сланца в кусочках кубической формы со стороной 1,5". Перегонка велась в газовой трубке при 500°. Как было установлено, сухая перегонка полностью заканчивается в течение 2 час.

Средний выход смолы в 50-тонной печи составлял 88—90% от лабораторного.

Очистка газа производится при температуре выше точки росы (~70°) вследствие извлечения аммиака из газа в паровой фазе путем промывки газа серной кислотой.

Указанный процент выхода смолы характеризует эффективность работы печи Гейсена, которая улавливает из газа около 90% смолы.

Изменение производительности печей отражается на выходе смолы: с ее увеличением процент выхода смолы снижается. Средний выход смолы в процентах от лабораторного составляет: в 50-тонной печи — 88,8%, в 100-тонной — 82,2%, в 150-тонной — 70,3%.

Выше указывалось, что при реконструкции 50-тонной печи и повышении ее производительности до 100 *т/сутки* диаметр печи не изменился. При неизменной общей высоте за счет удаления пережима была на 20—25% увеличена высота швельшахты и газогенератора. Однако при переходе к 100-тонной производительности время пребывания топлива как в швельшахте, так и в газогенераторе уменьшается. Повышение производительности при неизменном диаметре ведет к увеличению неравномерности схода топлива по сечению газогенератора. В этом случае, помимо опасности проникновения горячих газов с периферии газогенератора в швельшахту, в генераторном газе остается повышенное количество кислорода, которое вызывает горение сланца в швельпечи и уменьшение выхода смолы. Избежать этого можно было бы еще большим увеличением высоты газогенератора. Однако сделать это затруднительно, так как потребовалось бы повысить давление дутья и высоту гидрозатвора, что, в свою очередь, затруднило бы нормальную выгрузку золы. Следует признать, что лимитирующим фактором для повышения производительности печи являются размеры газогенератора.

Сланцевые газогенераторы во многом отличаются от угольных. В сланцевом полукоксе значительно больше золы и меньше углерода, чем в угле. Примерный анализ фушуньского полукокса: 6,35% углерода, 0,42% водорода, 0,75% серы, 92% золы, $Q_n = 640$ кал/кг. Несмотря на этот состав, из полукокса может быть получен хороший газ, не уступающий по качеству угольному.

Объясняется это, в основном, двумя причинами:

- 1) сланцевый полукокс поступает в газогенератор из шахты сухой перегонки нагретым до ~ 500°C;
- 2) до поступления в зону горения дутье, подаваемое в газогенератор, можно нагреть до высокой температуры за счет использования тепла золы. Так как необходимое количество дутья соответствует содержанию углерода в топливе, то при газификации сланца расход дутья невелик и имеется возможность предварительно нагреть его до высоких температур.

При хорошем теплообмене между опускающимся слоем золы и поднимающимся дутьем был получен следующий результат: на 1 кг полукокса расход дутья при температуре 82° составил: 0,3 м³ воздуха и 0,25 кг водяного пара. При содержании золы в полукоксе 92% количество тепла, которое несет с собой зола на 1 кг полукокса при выходе из зоны горения: $0,92 \times 0,25 \times 1\,000 = 230$ кал (температура зоны горения во избежание шуровок газогенератора поддерживалась не выше 1 000°C).

Количество тепла, потребное для нагрева дутья от 82°C до 1 000°C:

$$\begin{aligned} \text{воздуха } 0,3 \times 0,3 (1\,000 - 82) &= 83 \text{ кал} \\ \text{водяного пара } 0,25 \times 0,47 (1\,000 - 82) &= 108 \text{ »} \end{aligned}$$

Итого 191 кал.

Таким образом, зола может нагреть дутье до 1 000° и в ней останется еще запас тепла в 39 кал, что соответствует температуре золы ~ 170°C. Однако теплообмен между дутьем и золой несовершенен, поэтому температура золы, поступающей в затвор, достигает только 400—500°C.

В поддоне образуется большое количество пара — до 0,125 кг на 1 кг золы. Он поднимается по периферии газогенератора и неблагоприятно влияет на процесс газификации.

Был выдвинут проект устроить инжектор на дне дутьевой решетки с тем, чтобы дутье инжектировалось образующийся в поддоне водяной пар в центральный дутьевой поток; но эта конструкция не была испытана.

Помимо конструкции решетки и способа подачи дутья на состояние зоны горения в газогенераторе оказывает влияние движение топлива в шахте. Для изучения схода сланца была изготовлена модель газогенератора диаметром 12". В нее загружались кусочки сланца, размеры которых были пропорциональны кускам сланца, загружаемым в большой газогенератор. Наблюдение за движением материала проводилось при вращении колосниковой решетки. Испытанием было установлено следующее:

1. Если газогенератор не связан с шахтой сухой перегонки и не испытывает давления сверху, то скорость схода сланца по центру и по периферии почти одинакова.

2. Если над газогенератором находится шахта сухой перегонки, то скорость схода сланца в центральной части больше, чем по периферии.

3. На расстоянии 1,2 м от вершины колосниковой решетки сланец передвигается только вертикально вниз, а затем приобретает вращательное движение, которое делается все сильнее по мере приближения к колосниковой решетке. Это движение зависит также от формы решетки. При осмотрах было установлено, что в результате вращательного движения сланцевой золы в нижней части газогенератора разрушаются стенки.

4. Величина эксцентриситета не оказывает влияния на скорость схода сланца в верхней части газогенератора, но влияет на характер движения нижних слоев.

Основные расчетные характеристики печи по данным испытаний

Швельанализ сланца: вода — 8,25%, смола — 6,9%, газ — 4,35% (42,5 м³/т), полукок — 80,5%.

Элементарный анализ сланца: влажность — 4,05%, углерод — 12,52%, водород — 2%, кислород — 6,52%, азот — 0,38%, сера — 0,71%, зола — 73,82%.

Теплотворная способность 1 360 кал/кг.

Элементарный анализ полукокса: углерод — 6,35%, водород — 0,42%, сера — 0,75%, зола — 92%.

Теплотворная способность 640 кал/кг.

Из 1 т сланца выход газа (смесь генераторного и швельгаза) составляет 285—370 м³, а его теплотворная способность 1 250 кал/м³. Около 70% газа

расходуется на отопление печей, а около 30% является избыточным.

Точно замерить объем газа не удалось из-за имевшего место перетока его через клапаны регенераторов. Средний выход газа составлял ~ 310 м³/т сланца.

При нормальной работе печи получен следующий средний анализ выходящего из нее газа: CO₂ — 20%, O₂ — 0,2%, CO — 5,5%, H₂ — 18%, CH₄ — 6%, N₂ — 50,3%.

Теплотворная способность его Q_н = 1 170 кал/м³.

Анализ генераторного газа: CO₂ — 17,5%, O₂ — 0,2%, CO — 6,0%, H₂ — 15,5%, CH₄ — 2,5%, N₂ — 58,3%.

Теплотворная способность его Q_н = 810 кал/м³.

Зная суммарное количество газа и объем швельгаза (по данным лаборатории), можно определить количество генераторного газа. Выход швельгаза из 1 т фушуньского сланца — 42,5 м³. Количество генераторного газа: 310—42,5 = 267,5 м³.

Зная анализ и количество суммарного и генераторного газа, можно вычислить состав швельгаза: CO₂ (+ H₂S) — 35,0%, O₂ — 0,0%, CO — 2,2%, H₂ — 33,8%, C_м H_н — 28,2%, N₂ — 0,8%.

Теплотворная способность его Q_н = 3 420 кал/м³.

Количество тепла в швельгазе, получаемом из 1 кг сланца, равно 0,0425 × 3 420 = 146 кал.

Количество тепла в генераторном газе, получаемом из 1 кг сланца — 0,2675 × 810 = 216 кал.

Коэффициент полезного действия регенераторов по нашим подсчетам составляет около 70%.

Распределение углерода, содержащегося в сланце

Углерод переходит, главным образом, в газ и смолу; небольшое количество его остается в золе.

В 0,310 м³ газа (т. е. газа, полученного из 1 кг сланца) содержится 0,310 × 168,7 = 52,3 г углерода.

Элементарный состав сланцевой смолы: C — 84,4%, H₂ — 12,5%, N₂ — 0,6%, O₂ + S — 2,5%.

При среднем содержании смолы в сланце, отобранном для испытания, в 6,9%, количество углерода в смоле (считая на 1 кг сланца) составит 58,2 г.

Общее количество углерода в 1 кг сланца согласно приведенному элементарному анализу равно 125,2 г. Отсюда остаток углерода в золе: 125,2 — (52,3 + 58,2) = 14,7 г.

Количество золы в 1 кг сланца равно 738,2 г.

В золе содержится $\frac{14,7 \times 100}{738,2 + 14,7} = 1,95\%$ углерода.

По данным заводских анализов содержание углерода в золе, которая имела внутри черный цвет, 2%, а в золе коричневого, белого или красного цвета — около 0,5—1,0%.

Дутье. Предположим, что весь азот газа поступает с воздухом (содержание азота в сланце не превышает 1%).

Содержание азота в газе равно 50,3%.

Количество воздуха, соответствующее этому количеству азота, $50,3 \times \frac{100}{79} = 64,0\%$.

Для производства 0,31 м³ газа требуется воздуха: 0,31 × 0,64 = 0,198 м³.

Количество пара в дутье можно вычислить по температуре насыщения воздуха, равной 82°C . Давление воздуха 300 мм вод. ст. При этих условиях в 1 м^3 воздуха содержится 780 г водяных паров; содержание пара в воздухе, приходящегося на 1 кг сланца, будет: $0,198 \times 0,780 = 0,155 \text{ кг}$.

Если пренебречь потерей тепла в окружающую среду поддоном газогенератора, то разность между количеством тепла, приносимым золой в поддон и уносимым с выгружаемой золой, будет израсходована на испарение воды в поддоне. В том случае, когда поддон заливается водой температурой 20°C , количество образующегося пара составит 65% от общего количества пара, поступающего с дутьем.

Процент разложения водяного пара в газогенераторе = 8%, т. е. значительно ниже, чем в угольных газогенераторах. Причина этого заключается в том, что из-за низкой температуры плавления сланцевой золы температура зоны горения ниже соответствующей температуры в угольном газогенераторе.

Тепловой баланс газогенератора

Температура генераторного газа изменяется в зависимости от производительности генератора и величины зольного слоя и при нормальной работе печи составляет 650°C .

Часть тепла, необходимого для сухой перегонки сланца, покрывается за счет поступающего в шахту физического тепла генераторного газа. Недостающее тепло должно быть введено с горячим газом из регенератора. В нормальных условиях генераторный газ при выходе из газогенератора имеет температуру около 650°C . В газопроводе вне газогенератора она понижается до 600°C .

Приход тепла в швельшахту
(на 1 кг сланца)

Теплотворная способность сланца	1 360 кал
Физическое тепло, приносимое горячим газом из регенераторов	138,2 »
Физическое тепло генераторного газа	117,0 »
Итого	1 615,2 кал

Расход тепла из швельшахты

Испарение влаги сланца	
$640 \times 0,0405$	25,9 кал
Физическое тепло уносимого газа	
и пара	71,8 »
Теплотворная способность швельгаза	146,0 »
Теплотворная способность смолы	
$10 400 \times 0,069$	720,0 »
Потеря тепла в окружающую среду	15,0 »
Физическое тепло полукокса	115,0 »
Теплотворная способность полукокса	515,0 »
Итого	1 608,7 кал

Количество газа, сжигаемого в регенераторе

Средняя температура горячего газа при выходе из регенератора равна $\sim 700^{\circ}\text{C}$. Следовательно физическое тепло этого газа будет:

$$0,72 \times 0,32 \times 700 = 161,3 \text{ кал.}$$

Считая к. п. д. регенератора равным 70%, количество тепла, расходуемое в регенераторе:

$$161,3 : 0,7 = 230 \text{ кал.}$$

При теплотворной способности газа $1 170 \text{ кал/м}^3$ расход его в регенераторе будет:

$$230 : 1 170 = 0,197 \text{ м}^3.$$

По отношению к количеству газа, полученному из 1 кг сланца, это составит:

$$0,197 : 0,31 = 63,5\%.$$

Остальные 36,5% являются избыточным газом. Эта цифра близка к практическим данным.

Выводы

1. Опыт работы фушуньского завода по термической переработке низкосортных сланцев должен быть использован в СССР при проектировании предприятий по переработке аналогичного топлива.

2. Наиболее интересным является опыт осуществления высокопроизводительных печных агрегатов, как необходимой предпосылки для строительства крупных предприятий по химической переработке сланцев.

Полукоксы как топливо для автомобильных газогенераторов

Канд. техн. наук Г. Г. ТОКАРЕВ и инж. ПОЛУБОЯРИНОВ
(Члены Общества энергетиков)

По мере развития газогенераторных автомобилей в странах, бедных древесиной, примерно с 1935 — 1936 гг. начались опыты по использованию полукоксов и других видов тощего минерального топлива.

К 1940 г. полукоксы как топливо для автомобильных газогенераторов получили уже значительное распространение. Сведения об его применении имеются по многим маркам газогенераторных установок как-то: Виско-Автогаз, Ганза, Бурмайстер и Вайн, Кюла, Мальбей и др.

Исходя из результатов испытаний можно сделать вывод, что антрацитовые газогенераторные установки, равно как и большинство установок, работающих на древесном угле с подачей водяного пара пригодны для газификации полукоксов.

Высокая зольность полукоксов по сравнению с древесным углем и связанное с этим сильное шлакообразование требуют точной дозировки подачи воды в газогенератор и наличия приспособлений для удаления шлака,

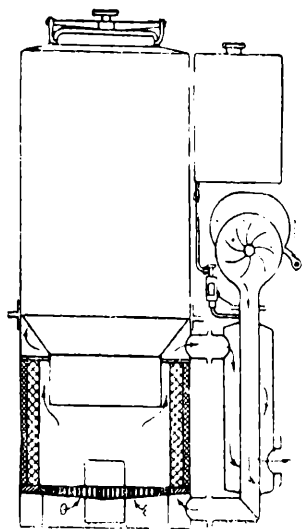


Рис. 1

На рис. 1 показана наиболее примитивная конструкция газогенератора прямого процесса для газификации полукокса, без шуровочных приспособлений и с ручной регулировкой количества подаваемой воды (капельницей). Газогенератор состоит из бункера, где хранится запас топлива, и корпуса, внутренняя поверхность которого облицована футеровкой, образующей камеру горения.

Паровоздушная смесь подводится через неподвижную стальную колосниковую решетку. Шлак и зола периодически удаляются через нижний зольниковый люк.

На рис. 2 дана схема газогенератора «Бурмейстер и Вайн». Здесь паровоздушная смесь образуется в рубашке, которая окружает металлический кожух футерованной камеры горения. Подача воды регулируется поплавком. Количество образующегося пара зависит от теплового режима газогенератора и уменьшается по мере накопления шлака, что является крупным недостатком. Шлак удаляется через верхний зольниковый люк путем опускания колосниковой решетки на соответствующую величину. Для полной очистки и перезарядки газогенератора зольник откидывается (на шарнире) вместе с колосниковой решеткой.

Бункер отделен от камеры горения затвором (колоколом), что позволяет догружать топливо в газогенератор во время его работы.

Более сложная конструкция газогенератора для

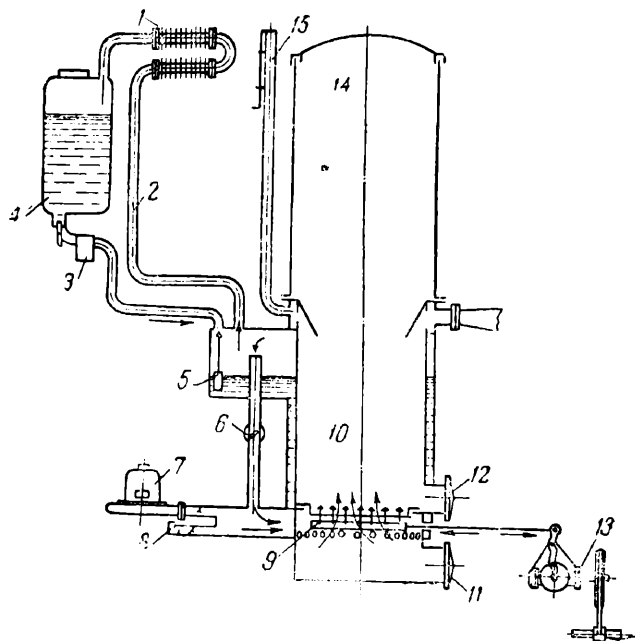


Рис. 3

газификации антрацита и полукокса (Виско-Автогаз) изображена на рис. 3. Камера горения имеет керамическую футеровку и охлаждается водяной рубашкой, что устраняет шлакообразование на стенках. Подача пара регулируется заслонкой, установленной в трубке, соединяющей паровое пространство рубашки с патрубком подвода воздуха в газогенератор. Излишек пара конденсируется в ребристой трубке (радиаторе) и стекает в водяной бак. Подача воды из бака в водяную рубашку газогенератора регулируется поплавком.

Решетка состоит из системы отдельных подвижных колосников, приводимых в движение от трансмиссии автомобиля при помощи тяг и червячной передачи. Это устройство обеспечивает очистку колосников от шлака и таким образом поддерживает постоянное разрежение в газогенераторе.

Значительный отвод тепла от активной зоны газогенератора является недостатком данной конструкции, так как это безусловно снижает тепловорность газа.

Характеристика полукоксов отечественного производства

Полукоксовая промышленность СССР развилась в годы Великой Отечественной войны. Первый полукоксовый завод значительной мощности расположен в Западной Сибири и второй — в Восточной Сибири. Тип печей, примерно, одинаковый, это — шахтные печи с внутренним обогревом. На первом заводе используются каменные угли Журинского пласта Ленинского месторождения Кузнецкого бассейна; на втором перерабатываются угли Черемховского месторождения.

Полукоксы журинского угля

Журинские угли — каменные угли гумусового происхождения. Они слабо спекаются и отнесены к марке Д. Зольность (A_c) угольного вещества невелика, в среднем около 6% (2,8—10%). Содержание серы (S_{06}) весьма мало — от 0,2 до 0,5%.

Уголь не отличается значительной механической и термической прочностью, куски крупнее 25 мм составляют лишь 30—40%. Поэтому и полукоксы, получаемый в печах с внутренним обогревом, трещиноват и хрупок.

При перевозках, а особенно при разгрузке и погрузке, полукоксы дополнительно измельчаются. Так, если в полукоксе из печей содержится 14% мелочи 0—10 мм, то после перевозок и перегрузок процент мелочи увеличивается до 24.

По кондициям, установленным для полукоксов журиных углей, он должен иметь следующую характеристику:

влажность (при хранении под крышей) около 8%
зольность (на сухое) A^c 7—8%
сера общая (на сухое) S^c 0,2—0,5%
летучие (на горючую массу) V^r 8—10%
состав горючей массы по весу: $C^r = 91,4\%$, $H^r = 2,2$, $O^r = 3,5$, $N^r = 2,3$, $S^r = 0,6$,
теплотворность горючей массы по высшему пределу 8 034 кал/кг,

поведение зольности при высоких температурах в восстановительной среде:

начало деформации 1 050°C
переход в пластическое состояние . . . 1 165°C
переход в жидкотекучее состояние . . . 1 180°C.

Исследование средних проб промышленного полукоксов журиного угля показало повышенное содержание летучих в полукоксе до 16—17%. Это может привести к замасливанию всасывающего газового тракта и клапанов двигателя, т. е. к нарушениям его работы.

Предварительные опытные работы по газификации промышленного полукоксов журиного угля подтвердили высказанные опасения. В дальнейшем пришлось изыскать способы дополнительной обработки полукоксов.

Полукоксы черемховского угля

На полукоксование поступает слабоспекающийся черемховский уголь пласта «Зумпфового» Храповского разреза шахт №№ 1 и 8. Этот уголь характеризуется довольно значительным содержанием

зола (до 30%), превышающим предельную зольность по ГОСТ-217-44 (19—22%).

По техническим условиям завода черемховский полукоксы должен иметь следующую характеристику:
влажность (при хранении под крышей) около 8%
зольность (на сухое) A^c до 20—22%
сера S^c 1,2%
летучие V^r 7—10%

состав горючей массы по весу: $C^r = 91,2\%$, $H^r = 2,6$, $O^r = 2,7$, $N^r = 2,3$, $S^r = 1,2$,
теплотворность горючей массы по высшему пределу 8 213 кал/кг.

Применение в автомобильных газогенераторах полукоксов из углей СССР

Из двух указанных сортов полукоксов, получаемых в значительных промышленных масштабах, более глубоко был исследован журиный полукоксы. Черемховский полукоксы ввиду его высокой зольности подвергался лишь предварительным испытаниям.

Газификация полукоксов журиных углей

В 1944 г. Центральный научно-исследовательский институт автотранспорта (ЦНИИАТ) провел дорожные испытания автомобиля ГАЗ-АА с древесно-угольным газогенератором УГ-1 (рис. 4) на журином полукоксе, содержащем около 10% зольности и около 18% летучих.

При испытаниях наблюдалось сильное засмаливание всасывающего тракта и клапанов двигателя, что явилось одной из основных помех. Кроме того, шлакование между фурмой и решеткой приводило к частым нарушениям равномерности и устойчивости протекания поперечного процесса газификации (газогенератор работал на воздушном дутье без добавки пара). Генератор приходилось очищать от шлака через каждые 100 км. Вследствие значительной хрупкости полукоксов фильтр быстро засорялся пылью. Это усложняло условия эксплуатации, так как фильтр приходилось чистить через 500 км; в то же время и сама очистка была недостаточной. Количество попадавшей в двигатель пыли и зольности превосходило допустимые пределы (табл. 1).

Таблица 1

Результаты стендовых испытаний газогенераторов УГ-1 и АГ-1 на журином полукоксе

Газогенератор	Топливо	Расход топлива при 80% нагрузки, кг	Расход воды в % к расходу топлива	Состав газа в % по объему				$Q_{н.}$ кал/м ³	Содержание в газе перед двигателем	
				CO ₂	CO	H ₂	CH ₄		смолы, г/м ³	пыли, г/м ³
УГ-1, поперечный процесс	Древесный уголь	12,5	0	2,00	31,7	5,30	2,10	1280	0,20	0,09
	Полукоксы	11,0	0	2,30	29,2	4,10	2,10	1170	—	0,34
АГ-1, прямой процесс	Древесный уголь	12,2	48	5,75	27,1	12,9	3,35	1440	—	0,03
	Полукоксы	12,4	25	3,10	30,1	8,64	2,64	1370	0,58	0,05

Накопленный во время испытаний опыт заставил предъявить более жесткие требования к качеству промышленного полукоксов, в частности, в отношении содержания летучих — не свыше 8—10%.

Поскольку полукоксовый завод не предоставил для испытаний полукоксов кондиционных качеств, надо было изыскать пути улучшения топлива.

Проведенные испытания показали, что древесно-угольный газогенератор УГ-1 не вполне подходит для нового топлива — полукоксов. В связи с этим ЦНИИАТ разработал конструкцию специального газогенератора АГ-1, рассчитанного для работы на журином полукоксе. Газогенератор был осуществлен по схеме прямого процесса с добавкой пара к дутью (рис. 5 и 6).

Газогенератор состоит из корпуса, конической камеры горения и зольника, которые сочленяются в одном фланцевом соединении.

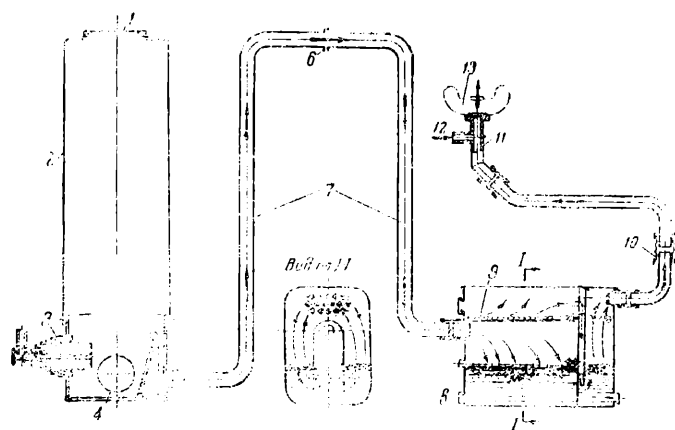


Рис. 4

Верхняя часть корпуса служит бункером для топлива и имеет кольцевой формы бак для воды. Подогрев бака и размещение трубок водоподдачи внутри газогенератора обеспечивают ему надежную работу в зимнее время. Поплавковое устройство поддерживает необходимый уровень воды в рубашке, охлаждающей камеру горения. Количество образующегося пара автоматически изменяется в зависимости от теплового режима газогенератора.

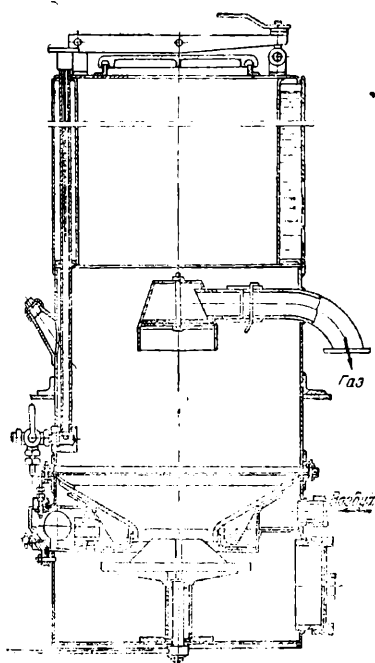


Рис. 5

соединений достигается в мокром очистителе с двойным барботажем (см. характеристику автомобиля ГАЗ-АГ-1, табл. 2).

Воздух, засасываемый в газогенератор через подогреватель, смешивается с паром и поступает в камеру горения через щель, образованную водяной рубашкой камеры и поворотной плитой. При вращении плиты от рукоятки, расположенной снаружи под днищем газогенератора, ребра, имеющиеся на плите, срезают шлак и сбрасывают его в зольник (до 50% от общего количества образующегося шлака).

Для разрыхления (ломом) большого количества скопившегося шлака служит шуровочное отверстие в стенке корпуса газогенератора. Очистка газа от пыли и сернистых

Расход воды в % к расходу топлива
по городу 70%
по шоссе 40%

Расход бензина на запуски (при отсутствии электровентилятора) 2—2,5 л/100 км
Пробег на одной загрузке бункера на журиномском полукоксе 100 км
Вес газогенераторной установки 190 кг

Двигатель

Мощность 31—32 л. с.
Число оборотов 2 400 об/мин
Степень сжатия 6,4

Газогенератор прямого процесса

Размер $\varnothing=460$ мм
 $h=1490$ мм
Производительность 70 м³/час
Емкость бункера (полезная) 80 л
Емкость водяного бака 38 л
Высота активного слоя 380 мм
Диаметр горловины 120 мм
Периодичность:
а) шуровки 150—200 км
б) чистки камеры 1 000 км
Вес газогенератора 102 кг
Теплотворность газа 1 370 кал/м³

Воздухонагреватель

Размеры:
а) наружный диаметр 76 мм
б) полная длина 11,0 мм
Поверхность подогрева 0,16 м²
Вес 10,5 кг

Охладитель

Размер $\varnothing=56$ мм
 $L=3,2$ м
Поверхность охлаждения 0,58 м²
Скорость газа в охладителе 12 м/сек
Вес 10,5 кг

Очиститель

Размер 600 × 350 × 550 мм
Объем колец Рашига 42 л
Вес очистителя (без колец) 41 кг

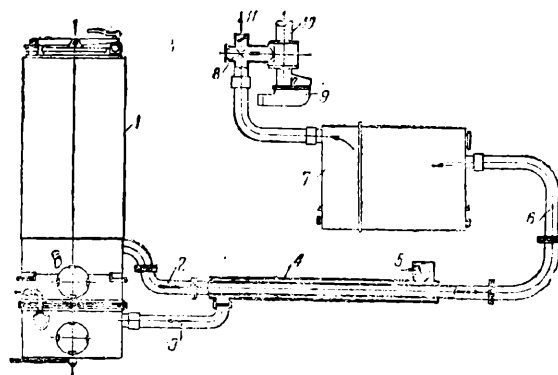


Рис. 6

Изготовленный во ВНИГИ генератор был испытан в 1945 г. в ЦНИИАТ в дорожных условиях и на стенде.

Одновременно с этим, учитывая опыт работ 1944 г., ВНИГИ поставил себе задачей провести дополнительную обработку журиномского полукокса для получения качественного газогенераторного топлива.

В средней пробе рядового журиномского полукокса содержалось: золы (А^c) 7,56%, летучих (V^r) 16,60%, мелочи (фракция 0—10 мм) 21%.

Столь значительный процент летучих неизбежно привел бы опять к засмаливанию двигателя.

Таблица 2

Техническая характеристика автомобиля ГАЗ-АГ-1

Грузоподъемность 1,25 т
Полезная площадь грузовой платформы 4,4 м²
Максимальная скорость 57 км/час
Расход топлива на 100 км пути по городу 39 кг
по шоссе 32 „

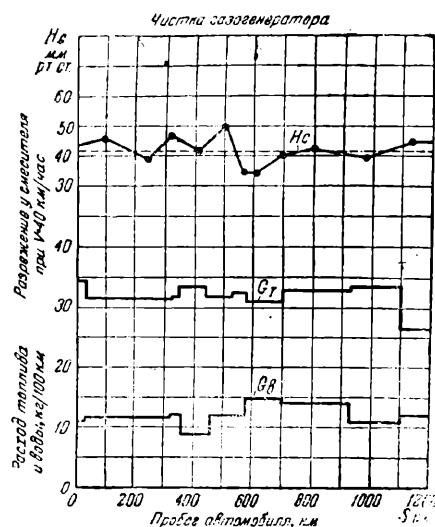


Рис. 7

После дополнительной обработки, проведенной по совету инженера Г. Н. Безрадецкого, получился качественный полукокс с содержанием: золы 3,92% и летучих 8,82%.

Испытания газогенератора АГ-1 на этом полукоксе дали удовлетворительные результаты и показали, что он вполне пригоден для автомобильных газогенераторов и почти во всех отношениях не уступает древесному углю. Малая зольность полукокса позволила довести пробег машины между чистками генератора от шлака до 1 000—1 200 км (рис. 7). Никакого засмаливания двигателя и засорения его пылью не было. Пробег между чистками фильтра также увеличился до 1 000 км. Теплотворность газа оказалась достаточно высокой, а качество очистки превысило показатели при работе газогенератора УГ-1 на древесном угле (табл. 1).

Эти испытания не только доказали пригодность полукокса, но и хорошую работу газогенератора типа АГ-1.

В 1945 г. ВНИГИ повторил опыты ЦНИИАТ на автомашине ГАЗ-АА с генератором УГ-1, но уже на качественном полукоксе журиных углей. Результаты оказались аналогичными работам ЦНИИАТ, хотя засмаливания двигателя уже не наблюдалось. Трудным был розжиг холодного газогенератора УГ-1, поскольку содержание летучих в полукоксе уменьшилось (рис. 8).

Газификация полукокса черемховских углей

Рядовой полукокс из черемховских углей, полученный ВНИГИ в 1945 г. для испытаний, имел среднее содержание золы Ас 20—22% и летучих V_г 7—10%.

Высокое содержание золы вызвало естественные опасения, что генератор будет быстро зашлаковываться, а процесс газификации — нарушаться. Проведенные ЦНИИАТ дорожные испытания автомашины ГАЗ-АА с газогенератором АГ-1 на черемховском полукоксе дали отрицательные результаты. Сильное зашлаковывание генератора не могло быть предотвращено или уменьшено даже весьма частыми шуровками.

Для того чтобы применять полукоксы черемховских углей как топливо для газогенераторных

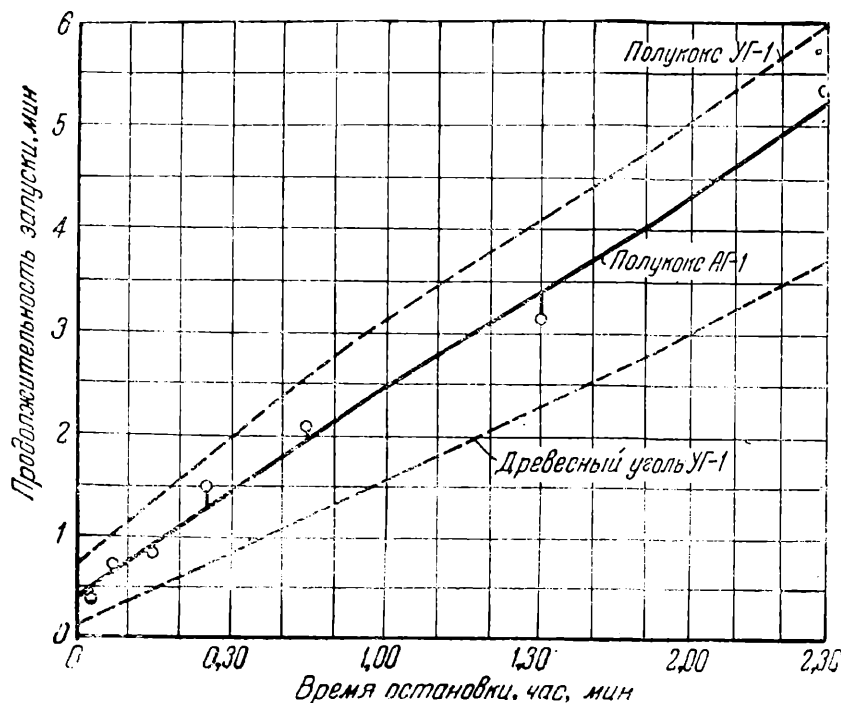


Рис. 8

автомашин, совершенно необходимо добиться получения качественного полукокса. В связи с этим надо сильно понизить содержание золы в исходном угле, поступающем на полукоксование, чтобы получать полукоксы с содержанием золы не более 10%, либо изыскать пути к снижению зольности полукокса.

Даже в том случае, когда из черемховских углей будет получаться для автомобильных газогенераторов полукоксы с зольностью до 10%, придется, повидимому, разработать для этого топлива специальную конструкцию газогенератора с непрерывным механизированным удалением золы и шлака.

Без таких мероприятий применение рядового полукокса из черемховских углей для газификации в автомобильных газогенераторах перспектив не имеет.

Способы получения полукокса нужного качества из промышленной продукции

Как уже указывалось, журиный полукоксы получается с содержанием летучих 16,6% вместо кондиционных 8—10%.

Во избежание засмаливания двигателя при работе его на газе из журиного полукокса последний был подвергнут следующей дополнительной обработке. От полукокса была отсеева мелочь 0—10 мм, непригодная для газификации, после чего он был опущен в воду (полукоксы забрасывались лопатами в бочку с водой и перемешивались там). Нескочкованный уголь и порода тонули и скапливались на дне, а полукоксы всплывали и вычерпывались.

Отход периодически выгружался так, чтобы между отходом, осевшим на дне, и плавающим полукоksom всегда был свободный слой воды.

Ниже даны результаты работы ВНИГИ, направленной к выделению качественного полукокса, пригодного для автомобильных газогенераторов (табл. 3).

Как видно, дополнительная обработка даже при самом кустарном ее осуществлении обеспечивает получение полукокса, пригодного для газификации в автомобильных генераторах.

Таблица 3

Фракции	Выход в % от рядового	Насыпной вес, кг/м³	Содержание, %	
			зола Ас	летучих
Полукоксы промышленный рядовой	100	545	7,56	16,60
Мелочь 0—10 мм	21	696	13,92	9,36
Остаток на сите (куски 10—40 мм)	79	507	6,87	16,82

При пропускании фракции 10—40 мм через воду в целях выделения недопала и пустой породы получено:

Утонувший уголь, недопал и пустая порода	33	710	15,37	29,46
Всплывший качественный полукоксы (куски 10—40 мм)	46	420	3,92	8,82

Этот способ может быть применен в любом хозяйстве. Однако нецелесообразно возлагать задачу получения качественного автомобильного топлива на автомобильные хозяйства, так как в этом случае получились бы весьма значительные потери топлива.

Несомненно более целесообразна организация получения автомобильного газогенераторного полукоксы непосредственно на заводе, производящем промышленный полукоксы.

Простейшими, но совершенно достаточными для этих целей способами останутся:

- 1) отсев мелочи 0—10 мм и кусков крупнее 40 мм,
- 2) удаление недопала и кусков породы путем пропускания полукоксы через воду.

В настоящее время зарубежная промышленность располагает многочисленными механизированными аппаратами такого рода¹. Однако более совершенным и надежным является полностью механизированный аппарат фирмы Бамаг-Мегуин. Здесь мелочь 0—10 мм и куски крупнее 40 мм отсеваются

на барабанном грохоте, а из фракции 10—40 мм отделяется полукоксы отсадкой в воде породы и недопала. Циркулирующая вода выносит полукоксы, а оседающие на дно недопал и пустая порода удаляются с помощью элеватора. Потеря воды составляет около 150 л на 1 т разделяемого полукоксы.

Такой агрегат с производительностью около 5—8 т полукоксы в час весит около 3 т и имеет габариты 2,6 × 2,6 × 2,6 м. Мощность мотора для привода всех механизмов — 4 л. с.

Опыт газификации полукоксы журиных углей в автомобильных газогенераторах позволяет сформулировать следующие технические условия на полукоксы для этих целей:

1. Для газификации в автомобильных газогенераторах полукоксы журиных углей следует применять в виде кусков от 10 до 40 мм. Мелочь 0—10 мм не должна превышать 8—10%. Полукоксы не должны содержать кусков крупнее 40 мм.

2. Содержание золы в полукоксы (на сухое вещество) должно быть не более 4—5%. Предельное содержание Ас = 8%.

3. Содержание серы общее (на сухое вещество) 0,2—0,5%. Предельное — 0,6%.

4. Содержание летучих веществ (на горючую массу) 10—12%, минимальное — 8%, максимально допустимое — 12%.

5. Выход смолы (на сухое вещество) при нагреве до 900°C не свыше 0,15%.

6. Влажность — 6—8%.

7. Содержание недопала и породы (по пробе в воде) не свыше 2%.

8. Насыпной вес 1 м³ — 400—450 кг.

При точном соблюдении этих технических условий как заводом, производящим полукоксы, так и автомобильными хозяйствами, основные предпосылки для надежной эксплуатации автомашин будут обеспечены. Таким образом, новый вид топлива для газогенераторных автомобилей займет достойное место в народном хозяйстве Западной Сибири и позволит сэкономить значительное количество дефицитного жидкого топлива.

Примечание. В статье использованы отчеты НАТИ, ЦНИИАТ и ВНИГП по испытанию полукоксы.

Газификация топлива как метод производства бытового газа

Канд. техн. наук Н. В. ШИШАКОВ
(Член Общества энергетиков)

Старыми европейскими и американскими нормами теплотворность бытового газа устанавливалась в 4 900—5 000 кал/м³ и, кроме того, требовалась определенная светимость пламени. Поэтому первоначально генераторные газы смешивались с ретортным газом. Примесью обычно служил карбюрированный водяной газ, реже — нефтяной газ. Теплотворность карбюрированного водяного газа и пропорция, в которой он примешивался к ретортному,

регулировались в зависимости от теплотворности и светимости последнего. На европейских и американских газовых заводах этот газ вырабатывался с теплотворностью 5 000—6 000 кал/м³. Его доля в городском газе составляла 10—25% и выше.

Кроме того, установки для получения карбюрированного водяного газа на заводах каменноугольного ретортного газа играли роль производственного буфера. Генераторы включались в работу завода во время повышенного разбора газа и выключались в те часы, когда его потребление сокращалось.

¹ Некоторые из них описаны, например, в статье Брегмана, «За экономию топлива», 1—8, стр. 14, 1945.

В 90-х годах прошлого века и в начале текущего столетия карбюрированный водяной газ получил особенно широкое распространение. В США больше половины газовых заводов перешло на его производство, совсем закрыв ретортные отделения.

В дальнейшем роль карбюрированного водяного газа в коммунальном газоснабжении сильно уменьшилась вследствие введения в осветительную технику калильной сетки Ауэра, не требовавшей от газового пламени светимости, и изменения стандарта на городской газ в отношении его теплотворности и содержания окиси углерода. За норму была принята высшая теплотворность газа $= 4\,000—4\,200 \text{ кал/м}^3$. Содержание окиси углерода в газе не должно было превышать определенного предела¹, более низкого, чем у карбюрированного водяного газа. Поэтому роль последнего на газовых заводах свелась к покрытию пик суточного графика потребления городского газа и к понижению теплотворности ретортного или другого высококалорийного газа до установленной нормы. Так как светимость пламени газа уже не имела значения, во многих случаях карбюрированный водяной газ был заменен обычным водяным. Производство водяного газа из кокса сохранилось в системе газовых заводов еще и потому, что они располагали запасами ретортного кокса, не всегда находившего потребителя.

Во время первой мировой войны и в период, непосредственно за ней следовавший, в результате стремления заменить высококачественные виды топлива низкосортным, на городских газовых заводах Европы (и в меньшей степени США) стали появляться установки двойного водяного газа. Однако ряд дефектов этого метода (сложность оборудования, малая производительность, затруднения с газификацией топлив влажностью выше 20%) ограничили его применение.

За последнее пятнадцатилетие в организации городского газоснабжения отмечаются новые тенденции. Одним из основных типов городского газового завода становится коксогозовый. Целевой продукт его — газ, кокс является уже побочным продуктом. Как широка эта тенденция, можно видеть на примере США. В 1930 г. коммунальные коксогозовые заводы США дали² газа для бытовых целей 1,5 млрд. м³, а в 1942 г. — втрое больше. Из 26,7 млрд. м³ коксового газа³, полученного в США в 1942 г., около 5 млрд. м³ произведено коммунальными заводами для бытового потребления.

Роль полной газификации топлива в этом случае двойка. С одной стороны, коксогозовые заводы потребляют большое количество смешанного генераторного газа с теплотворностью $1\,150—1\,250 \text{ кал/м}^3$. Он идет на обогрев коксовых печей и не входит в состав бытового газа. С другой стороны, коксовый газ, как и ретортный, нуждается в добавке водяного газа.

Таким образом, на протяжении истории коммунального газоснабжения генераторные газы имели самостоятельное значение в течение недолгого периода. В основном же они являлись подсобными.

Применению генераторных газов для бытовых целей до сих пор препятствовали недостаточная их теплотворность и высокое содержание окиси углерода. Применение карбюрированного водяного газа связано, кроме того, с расходом ценных нефтепродуктов.

Положение коренным образом изменилось после введения в практику нового метода газификации — под высоким давлением. Сущность его заключается в том, что процесс ведется на парокислородном дутье под давлением 20 ат. В результате получается газ, отвечающий по теплотворности современному стандарту на бытовой газ.

Применение высокого давления при газификации топлива благоприятствует развитию реакций образования метана. После отмывки от газа углекислоты водой, что легко осуществляется при высоком давлении, получается газ, обогащенный метаном и водородом. Путем подбора соответствующего теплового режима в зоне газификации, содержание СО в нем можно довести до нормы, установленной для бытового газа.

Первая опытнопромышленная установка для газификации под давлением была построена в 1931 г. в Гиршфельде. Она работает и в настоящее время, снабжая газом г. Циттау. Установка состоит из двух газогенераторов — рабочего и резервного — с диаметром шахты в 1,25 м. Газогенератор дает около $1\,000 \text{ м}^3/\text{час}$ газа теплотворностью около $4\,200 \text{ кал/м}^3$. Позднее были построены еще две установки. Наиболее крупная состоит из 10 газогенераторов (с диаметром шахты 2,5 м) производительностью по $2\,500—3\,000 \text{ м}^3$ газа в час. Все установки работают на мелком буром угле.

За время существования и эксплуатации всех этих установок скопился достаточно обширный документальный материал. Анализ его позволяет ответить на ряд практических вопросов, касающихся надежности метода и возможности его широкого применения для различных видов твердого топлива, в частности для топлив СССР.

В табл. 1 приведены состав и теплотворность газов, полученных при газификации различных углей под высоким давлением. Судетский и бёленский а также уголь двух пластов из гиршфельдовского месторождения в течение ряда лет являлись повседневным топливом для газогенераторных станций высокого давления. Остальные угли подвергались лишь опытной газификации в Гиршфельде. Как видно, были испытаны угли весьма разнообразные по своей природе, влажности и зольности, начиная от тощих, с минимальной влажностью, до молодых бурых углей и лигнитов с влажностью до 30%.

Во всех случаях получался газ с теплотворностью, отвечающей существующим нормам. Можно, таким образом, считать установленным, что при безостаточной газификации под давлением 20 ат характер процесса обуславливает получение газа с теплотворностью в $4\,000—4\,400 \text{ кал/м}^3$.

Как же влияют на протекание процесса и его результаты влажность, зольность и другие характеристики топлива?

Влажность топлива (в пределах до 30%) не оказывает заметного влияния на теплотворность газа и на работу газогенератора. Это подтверждается результатами специального опыта, проведенного

¹ В некоторых странах содержание окиси углерода не нормируется.

² Statistical Bulletin of Amer. gas. Assoc., № 9, 1931.

³ Лигниненко, Коксо-химическая промышленность США. 1945.

Таблица 1

Состав и теплотворность газа, полученного при газификации под высоким давлением (20 ат)

Виды топлива	Технический анализ топлива, %			Выход смолы по Фишеру, %	Состав газа, %							Высшая теплотворность газа, кал/м³*
	W ^p	A ^c	V ^r		CO ₂	C _n H _m	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	
Установка в Гиршфельде												
Тощий германский уголь	6,6	5,5	8,0	0,1	0,7	0,2	0,0	26,5	54,9	16,1	1,6	4050
Спекающийся уголь после окисления	5,7	5,0	12,5	0,6	0,5	0,0	0,1	27,6	51,7	16,5	3,6	3980
Слабоспекающийся австрийский уголь	6,5	20,0	36,0	6,5	2,9	0,2	0,2	21,2	53,7	17,9	3,9	4014
Бурый штирийский уголь	15,8	22,5	37,5	12,8	2,1	0,4	0,2	22,5	54,0	17,0	3,8	4010
Лигнит итальянский	23,4	26,0	—	13,9	1,4	0,5	0,2	15,8	58,0	20,5	3,6	4280
Бурый германский (Бёленский) уголь	15,2	11,0	46,7	16,6	2,3	1,0	0,1	25,3	47,5	21,5	2,0	4495
Бурый германский (гиршфельдовский) уголь	17,5	25,8	49,0	17,4	2,7	0,4	0,2	24,3	49,8	18,5	4,2	4086
То же	30,8	8,3	47,0	15,4	2,1	0,6	0,2	20,1	56,4	17,5	3,0	4080
Бурый французский уголь	10,8	31,5	—	11,8	0,8	0,4	0,2	24,1	54,6	17,8	2,1	4048
Установка в Бёлене												
Бурый Бёленский уголь	28,3	12,5	—	12,6	4,7	0,9	0,2	18,7	49,6	22,1	3,8	4319
Установка в Брюксе												
Бурый судетский уголь	30,0	12,8	34,3	11,5	2,9	0,2	0,1	16,6	61,7	17,3	1,2	4068
Каменный чехословацкий уголь . .	6,0	10,0	38,0	12,7	2,1	0,3	0,1	20,7	53,7	19,1	4,0	4136

* Влажность топлива, загружаемого в газогенератор.

при участии автора с гиршфельдовским углем влажностью 19—33%:

W ^p угля, %	Q газа, кал/м³
19,5	4000
27,4	4058
30,8	4086
33,3	4044

При этом никаких осложнений в протекании процесса газификации обнаружено не было.

Предел влажности топлива будет определяться, очевидно, возможностью завершения подсушки топлива до поступления его в зону газификации и отсутствием конденсации водяных паров.

Зольность топлива оказала неблагоприятное влияние только в одном случае — при газификации французского угля, содержавшего 31% золы; вследствие недостаточной мощности золоудаляющих устройств наблюдался застой золы в шахте газогенератора, шлакование и, в связи с этим, нарушение процесса. После удаления породы вручную зольность угля была приведена в соответствие с мощностью золоудаляющего механизма. Продолжительная работа на гиршфельдовском угле с содержанием золы 26% показала, что такая зольность не может служить помехой для установления нормального процесса газификации под высоким давлением. Газификация итальянского угля с таким же содержанием золы, но значительно более легкоплавкой, дала удовлетворительные результаты.

Таким образом, применение топлив с повышенной зольностью для газификации под высоким давлением возможно. Тепловой режим процесса можно варьировать в широких пределах, обеспечивая всякий раз хорошее выгорание шлака и нормальное качество газа.

Существенное значение для газификации под высоким давлением имеет способность топлива спекаться. Бурый штирийский уголь, не показывавший при лабораторном испытании и следов спекания, при газификации под высоким давлением спекался.

Это выражалось настолько ярко, что приходилось выключать газогенератор, производить шуровку и восстанавливать нарушенный процесс.

Появление спекаемости у неспекающихся углей в случае повышения давления не является неожиданным. В литературе на это и раньше имелись прямые указания. Так, Блайден¹ указывает, что при давлении газа 50 ат «возможно получение плотного кокса из неспекающихся углей». Причины и природа этого явления недостаточно выяснены; возможно, что тут имеет место образование пластических масс в среднетемпературных зонах топливного слоя².

Однако не все угли одинаково реагируют на высокое давление. Из серии бурых углей самого различного происхождения склонность к спеканию обнаружил только один штирийский. Более того, спекающийся, но предварительно искусственно окисленный германский уголь при газификации под высоким давлением не восстановил своей спекающей способности. При газификации слабоспекающегося австрийского угля также не было обнаружено никаких нарушений процесса.

К сожалению, в протоколах испытаний не имеется сколько-нибудь подробной характеристики углей. Поэтому установить взаимосвязь между появлением спекаемости и химической природой углей не представляется возможным. Этот вопрос требует специального исследования. Важность его для газификации под давлением вытекает из самой сущности метода, не допускающего применения постоянного механического рыхления топливного слоя.

Опытные работы с различными углями и повседневная эксплуатация газовых станций указывают на важность предварительной подготовки топлива в отношении его фракционного состава. Чем уже класс загружаемого в газогенератор топлива, тем

¹ „Iron and Coal Trades Review“, 17/IX, 1937.

² „Engineering“, 18/VI, 1937.

легче устанавливается нормальный процесс газификации. Газогенераторные станции высокого давления работают на угле класса 2—20 мм и 3—25 мм.

Изучение обширных материалов по эксплуатации газогенераторов высокого давления и по опытам с различными видами топлив, а также личное участие автора в работах по газификации бурых углей создают уверенность в полной освоении этого нового метода, в его надежности и хорошей регулировке. На станциях высокого давления резко бросаются в глаза значительно более легкие условия работы, чем на обычных генераторных станциях.

Газификация под высоким давлением должна найти широкое применение в СССР. Огромный ассортимент советских неспекающихся топлив является прекрасной сырьевой базой для производства высококалорийного газа, пригодного для бытового и промышленного потребления. Особенность метода подкачивает и характер организации газового производства. Оно должно быть создаваемо на местах добычи топлива с передачей газа на расстояние 200—300—500 км в зависимости от принятого давления. Газовые заводы высокого давления могут сочетаться с брикетными фабриками, с которыми их связывает общность подготовки топлива (дробление и подсушка).

Бурые угли СССР — богословский, черновский, гусиноозерский и др., газификация которых обычными методами затруднена (так как они разрушаются в шахте газогенератора), должны найти применение для газогенераторов высокого давления, работающих на мелкозернистом топливе. Легко может быть освоена газификация под высоким давлением челябинских и канских углей и особенно таких активных углей, как сулюктинский и райчихинский.

Огромный интерес представляет газификация под высоким давлением фрезерного торфа. По зольности это топливо не возбуждает сомнений в своей пригодности, а по влажности и зерновому составу может быть легко приспособлено для этих целей. Единственной трудностью конструктивного порядка является загрузка фрезерного торфа в газогенератор, так как этот материал имеет низкий насыпной вес и малую сыпучесть.

Из советских топлив испытан в газогенераторе высокого давления только один подмосковный уголь. Как известно, при газификации в обычных газогенераторах он является «трудным» топливом. Тем интереснее рассмотреть результаты его газификации под высоким давлением. Такие опытные работы были организованы в 1946 г. Главгазтопромом при Совете Министров СССР. Непосредственное участие в работах принял Энергетический институт Академии наук СССР (старшие научные сотрудники В. С. Альтшулер, Б. В. Канторович и автор).

Для опытных работ было доставлено около 1 000 т подмосковного угля марки «О» из шахты № 1 треста Молотовуголь. Рабочая масса угля содержала 33% влаги, около 17% золы и 2—4% серы. Перед поступлением в бункера станции уголь подвергался дроблению, подсушке и освобождался от колчедана. Влажность угля снижалась в отдельных опытах до 18—25%. Колчедан, количество которого в угле составляло более половины содержащейся в угле общей серы, отделялся на сепараторе системы

Киселева. Удавалось отделить до 66% колчедана. Это мероприятие было предпринято для устранения одной из главных причин шлакования золы подмосковного угля.

Всего было проведено пять опытов с суммарной продолжительностью 11 суток. Первые два опыта — поисковые: имелось в виду нащупать оптимальный температурный режим зоны газификации, исключая шлакование. При этом было установлено, что при расходе пара 6,2—7,5 кг/м³ O₂ создается угроза шлакования. В выгребе появлялись кусочки сплавленного шлака до 50—70 мм в поперечнике. С переходом к более холодному режиму эти явления исчезли. Остальные опыты проводились как балансовые, при расходе пара 8,1—8,9 кг/м³ O₂, со снятием всех показателей, и варьировались по влажностью топлива. Для последнего, пятого, опыта был взят неподсушенный уголь с влажностью 29,7%, оставшийся на складе к моменту окончания опытных работ.

Результаты газификации подмосковного угля в газогенераторе высокого давления указаны в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты газификации подмосковного угля в газогенераторе высокого давления

Показатель	О п ы т ы		
	III	IV	V
Продолжительность опыта	72—00	75—25	23—15
Т о п л и в о			
Технический анализ угля, вес в %:			
WP	23,77	18,20	29,68
AP	24,48	25,10	20,96
Горючее (BP)	51,75	56,70	49,36
Ac	32,07	30,70	29,80
WP: BP	45,90	32,10	60,20
Ситовый анализ угля, вес %:			
≤ 3 мм	9,7	19,7	8,2
3—18 „	84,5	75,8	72,9
≥ 18 „	5,8	4,5	18,9
Средний размер зерна, мм	8,4	7,2	11,9
Швельанализ угля, вес %:			
влага топлива	23,77	18,20	29,68
пирогенная вода	4,49	5,59	4,85
смола	6,84	6,86	6,20
полукокс	58,37	62,31	53,92
газ и потери	6,53	7,84	5,35
выход смолы на горючую массу угля	13,2	12,10	11,50
Высшая теплотворность рабочего топлива, кал/кг	3507	3831	3326
Низшая теплотворность рабочего топлива, кал/кг	3209	3551	3002
К и с л о р о д			
Концентрация O₂ в техническом кислороде, %	91,18	91,90	93,5
Удельный расход 100%-го O₂:			
на горючую массу угля, нм³/кг	0,208	0,194	0,210
на чистый газ, нм³/нм³	0,176	0,173	0,184
П а р			
Температура пара, °C	495	500	493
Удельный расход пара:			
на горючую массу угля, кг/кг	1,685	1,720	1,860
„ 1 м³ чистого газа кг/м³	1,440	1,530	1,830
„ „ 100%-го кислорода, кг/м³	8,12	8,86	8,83
Степень разложения пара, %	37,3	36,4	33,7

Продолжение таблицы 2

Таблица 3

Показатель	О п ы т ы		
	III	IV	V
С о с т а в д у т ь я, о б ъ е м. %			
кислород	8,9	8,3	8,3
азот	0,80	0,7	0,6
пар	90,3	91,0	91,1
Производительность газогенератора			
Суточный расход топлива, т	31,4	29,2	31,9
Напряжение сечения шахты, кг/м ² час:			
на рабочее топливо	1130	988	1075
„ горючую массу	585	690	520
Часовая производительность по газу, нм ³ /час:			
по неочищенному	1248	1160	1129
по чистому газу	844	774	742
Н е о ч и щ е н н ы й г а з			
Выход газа, нм ³ /кг:			
из рабочего топлива	0,897	0,953	0,850
из горючей массы	1,735	1,680	1,720
Состав газа, объемн. %:			
CO ₂	30,81	31,80	31,11
H ₂	1,42	1,66	1,65
CnHm	0,71	0,70	0,69
O ₂	0,29	0,27	0,29
CO	15,99	14,35	14,98
H ₂	39,66	39,85	39,92
CH ₄	6,62	6,82	7,34
C ₂ H ₆	3,10	3,01	2,36
N ₂	1,40	1,54	1,70
Теплотворность газа, кал/нм ³ :			
высшая	3024	3019	2985
низшая	2725	2707	2635
Влагосодержание газа, г/нм ³	923	895	1120
Содержание бензина, г/нм ³	—	14,7	—
Температура на выходе из газогенератора, °C	185	205	180
Давление в газогенераторе, атм, изб.	19,0	18,3	18,3
Ч и с т ы й г а з			
Выход газа, нм ³ /кг:			
из рабочего топлива	0,606	0,635	0,560
из горючей массы	1,174	1,120	1,135
Состав газа, объемн. %:			
CO ₂	2,87	3,53	3,07
CnHm	0,64	0,75	0,49
O ₂	0,28	0,23	0,30
CO	23,10	20,11	20,93
H ₂	53,40	55,68	56,03
CH ₄	15,31	13,51	13,92
C ₂ H ₆	2,05	3,22	2,26
N ₂	2,35	2,97	3,00
Теплотворность газа, кал/нм ³			
высшая	4215	4240	4129
низшая	3778	3775	3687
Ш л а к			
Содержание горючих в шлаке, вес. %	5,46	5,51	3,49
С м о л а			
Выход общей смолы, вес. %:			
на рабочее топливо	4,76	6,62	5,98
„ горючую массу	9,20	11,68	11,10
Выход легкого масла из общей смолы, вес. %	12,9	8,76	10,10

Тепловой баланс
процесса газификации подмосковного угля в
газогенераторе высокого давления
(по высшему пределу) в %

	О п ы т ы		
	III	IV	V
П р и х о д			
Теплотворность угля	82,76	82,43	81,40
Теплосодержание кислорода	0,24	0,22	0,17
Теплосодержание водяного пара	17,00	17,35	18,43
	100,00	100,00	100,00
Р а с х о д			
Теплотворность сырого газа	61,00	61,77	62,15
Физическое тепло газа	1,37	1,47	1,32
Теплосодержание влаги газа	13,00	13,02	15,62
Теплотворность и теплосодержание паров смолы	10,59	12,96	13,35
Унос	0,85	0,82	0,81
Шлаки	3,16	2,92	2,05
Теплотворность воднорастворимых соединений	1,30	1,29	1,39
	91,27	94,25	96,69
Потери во внешнюю среду (включая потери тепла в водяную рубашку газогенератора)	5,73	5,75	3,31
	100,00	100,00	100,00

Анализ полученных результатов и непосредственные наблюдения за ходом работы и состоянием газогенератора приводят к следующему заключению.

1. При газификации подмосковного угля без особого труда устанавливается ровный ход газогенератора. При соответствующем паровом режиме шлакование отсутствует. Выгреб — мелкозернистая, сильно пылящая зола, содержащая отдельные мелкие кусочки сплавленного или спекшегося шлака.

Наблюдавшийся в одном из опытов застой спрессованной у стенок шахты мелкозернистой золы, приведшей к расстройству процесса, был устранен после усиления выгребающего действия колосниковой решетки.

2. Изменение влажности топлива в пределах от 18 до 30% на ход процесса и результаты газификации, равно как и на удельный расход кислорода, практически не влияло.

3. Теплотворность полученного газа (4 100—4 200 кал/м³) оказалась выше, чем у многих других бурых углей, подвергавшихся газификации под высоким давлением.

4. Производительность, с которой работал газогенератор на подмосковном угле, не показательна, так как она ограничивалась производительностью компрессоров, установленных на станции.

5. Коэффициент полезного действия процесса составляет 62—64%. Характерным является незначительность тепловых потерь с уносом и выгребом.

Современные методы производства газа для синтеза жидкого топлива

Канд. техн. наук В. С. АЛЬТШУЛЕР
(Член Общества энергетиков)

Последнее десятилетие перед второй мировой войной характеризовалось значительным развитием за границей промышленного производства газа из твердых топлив. Это обуславливалось, главным образом, ростом промышленности искусственного жидкого топлива, основой, как известно, на применении газов в качестве сырья.

Анализируя и оценивая тенденции в развитии технологии новых методов газификации твердых топлив на примере Германии, можно отметить следующее.

Прежде всего, в отличие от старого периодического производства газа, все новые методы осуществляют непрерывный процесс газификации твердого топлива, что является их преимуществом.

Вторая тенденция выражается в использовании местных низкачественных топлив, преимущественно бурых углей. В 1943 г. примерно 55% жидкого топлива Германии было получено из каменных углей и 45% -- из бурых. Вновь построенные крупные заводы жидкого топлива работают на местных бурых углях.

Третья тенденция характеризуется стандартизацией топлива и тщательностью его подготовки перед подачей в газогенераторы. Удельный вес сооружений и устройств по подготовке топлива в общей технологической схеме значителен.

Четвертая тенденция весьма интересна с чисто технологической точки зрения. Это тенденция к двухступенчатой газификации, т. е. к такой комбинации аппаратов для получения газа, при которой в основном высокопроизводительном аппарате получается преобладающее количество газа и твердый высокозольный остаток. Последний, ввиду особых условий его использования, дожигается в топках или газогенераторах с жидким шлакоудалением, т. е. в отдельных, более приспособленных аппаратах. Двухступенчатая газификация характерна для методов Копперс, Шмальфельд, внедряется в метод Винклера (в генераторах Винклера около 50% углерода остается в шлаках) и т. д. Она повышает к. п. д. процесса и процент использования углерода топлива.

Пятая и последняя тенденция характеризуется увеличением применения кислорода при производстве газа из твердых топлив.

Предложенные и осуществленные методы газификации твердых топлив на технологический газ можно разбить на три группы. В основу этой разбивки положена характеристика способа подвода тепла в шахту газогенератора.

К первой группе относятся методы, при которых тепло, необходимое для процесса, подводится предварительно нагретым циркулирующим газовым теплоносителем (методы Копперс и Шмальфельд).

Во вторую группу входят методы, при которых тепло подводится через внешнюю стенку аппарата

(метод Дидье и Фрейбергский). По Фрейбергскому методу велись только экспериментальные работы, промышленного осуществления он не получил.

В третью группу входят методы газификации твердых топлив на парокислородном дутье: в «кипящем слое» — Винклер, под высоким давлением — Лурги, с жидким шлакоудалением — Вюрт и Тиссен-Галочи и, наконец, обычные газогенераторы водяного газа, работающие на парокислородном дутье.

В зависимости от способа производства жидкого топлива (синтез из газов или гидрогенизация) применяются те или иные методы производства газа. На гидрогенизационных заводах, где газ используется как источник водорода для гидрирования, распространен метод Винклера. Здесь колебания

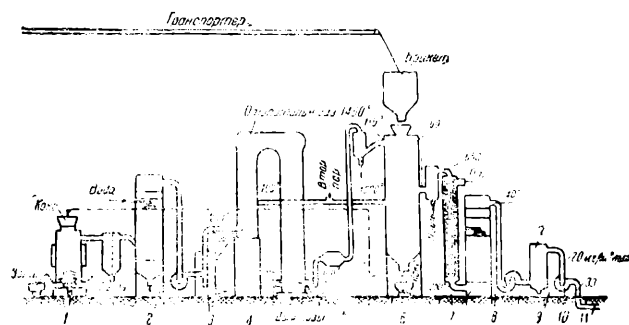


Рис. 1. Технологическая схема установки Копперса: 1 — шесть газогенераторов с пылеотделителями и холодильниками; 2 — три эксгаустера; 3 — подогрев газа; 4 — два регенератора; 5 — четыре электросмолочистителя; 6 — печь Копперс; 7 — два котла утилизационных; 8 — два скруббера; 9 — два дезинтегратора; 10 — два эксгаустера; 11 — синтезгаз; 12 — два водоотделителя.

Примечание. Производительность 25 000 нм^3 синтезгаза в час; расход 500 т брикета в сутки; выход 1 200 нм^3 синтезгаза (т брикета и 200 кг кокса) т брикета. Состав синтезгаза: 12% CO_2 ; 0% C_2H_6 ; 0% O_2 ; 28% CO ; 56% H_2 ; 2% CH_4 ; 2% N_2 ; 84% $\text{CO} + \text{H}_2$; $\text{H}_2 : \text{CO} = 2$.

в соотношении CO и H_2 в газе не имеют значения, так как он подвергается конверсии. Более существенной является сумма CO и H_2 , определяющая конечный выход водорода.

На заводах по производству синтина газ используется как основное сырье для синтеза. Поэтому большое значение имеет состав газа ($\text{CO} : \text{H}_2 = 1 : 2$). Здесь необходимо сразу же получать газ нужного состава, без дополнительной переработки. На синтиновых заводах методы производства технологического газа разнообразны (Копперс, Дидье и т. д.).

Рассмотрим отдельные методы получения технологического газа.

I группа методов — с циркуляцией газового теплоносителя

В технической литературе были подробно описаны опыты по газификации твердых топлив по способу Пинч-Гиллебранд. Этот способ находился около 15 лет в стадии опытной разработки и не нашел промышленного применения из-за сложного конструктивного оформления газогенераторов, требующего к тому же больших затрат металла и огнеупоров.

Более простыми оказались способы Копперс и Шмальфельд. Принципиальным отличием их от способа Пинч-Гиллебранда является то, что по последнему методу газификация топлива проводится полностью до золы, а в методах Копперс и Шмальфельда из газогенераторов выводится зольное топливо.

Методы Копперс и Шмальфельд различаются по виду применяемого топлива, что определяет разное конструктивное оформление установок. В установке Копперс сырьем является крупнокусковое топливо — буроугольные брикеты ($60 \times 40 \times 40$ мм), а в установке Шмальфельд — угольная пыль (< 6 мм).

Метод Копперс (рис. 1). Каждый агрегат «Копперс» представляет собой самостоятельную установку с полным комплектом оборудования и машин, работающую независимо от других агрегатов.

В технологической схеме можно выделить три основных узла:

1) камерную печь, состоящую из четырех шахт размером $2 \times 4,3$ м каждая, общей высотой ~ 25 м;

2) отопительную систему, включающую регенераторы с топками и автоматическую систему управления;

3) систему очистки и охлаждения газа, включающую котлы-утилизаторы, циклоны, скрубберы, тейзены, газодувки и др.

Топливо (буроугольные брикеты) после отсева мелочи и сортировки транспортерами подается в бункеры печей, откуда через два загрузочные устройства поступает в печь.

Примерно на одной трети высоты (снизу) в печь подается нагретая в регенераторе до $1\,100$ — $1\,200^\circ\text{C}$ смесь циркуляционного синтезгаза, швельгаза, водяного пара и остатков паров смолы. На расстоянии около 2 м от входа дутья устроен отвод синтезгаза, имеющего температуру 800°C . Подвод дутья и отвод синтезгаза конструктивно выполнены в виде специальных сводов, соединенных в торцах общим каналом, связанным со штуцером. Отбираемый синтезгаз имеет свою систему аппаратов по очистке и охлаждению.

Циркуляционный газ и швельпродукты (температура 100 — 120°C) отбираются вверху коллектором, орошаемым нагретой смолой и поступают в свою систему очистки, состоящую из смолотделителей и циркуляционных газодувок. После очистки газ подается для нагрева. На каждую печь установлено 2 регенератора, из которых один находится на «разогреве», а другой на «дутье». Кауперы переключаются каждые 20 мин. путем пневматического перевода задвижек от центрального пульта управления. Кауперы отапливаются генераторным газом, получаемым в газогенераторах, работающих на остаточном коксе из печей. Последний выдается из печей через специальные разгрузочные устрой-

ства пиллозового типа; до выдачи кокс охлаждается в нижней части печи в охлаждающих коробках.

Основные показатели работы печи даны в табл. 1.

Метод Шмальфельд (рис. 2). В технологической схеме можно выделить следующие основные группы аппаратов:

1) предварительное измельчение сырого угля (валцевые и молотковые дробилки, транспортеры);

2) сушка, измельчение угля, транспорт пыли (трубы-сушилки, пылеотделители, пылесепараторы, насосы Фуллера для пыли);

3) основной аппарат — газогенератор диаметром 4 м, $H = 20$ м;

4) установка для очистки и охлаждения синтезгаза и циркуляционного газа (скруббера, газодувки и др.);

5) отопительная система (регенераторы, подогреватели воздуха и газа, пылеотделители и др.).

Сырой бурый уголь ($W^p = 55\%$) выгружается в приемные бункеры, подвергается дроблению и измельчению до крупности 6 мм и ниже, затем через вертикальную течку и турникет шнеком подается в трубу-сушилку. Сюда же снизу поступает из газогенератора газ, нагретый до 800°C , содержащий непрореагировавшую угольную пыль.

Сырой уголь подается, примерно, на 3 м выше входа газа. Горячий газ захватывает подведенное топливо и нагревает его до 150°C , подсушивая до влажности 3—5%. Вследствие резкого повышения температуры в сушильной трубе происходит дополнительное измельчение угля. Затем газ проходит большой пылеотделитель, где часть пыли выделяется и направляется в пылесепаратор для разделения на 2 фракции. Крупная фракция подается на шаровую мельницу, измельчается и поступает вместе с потоком сырого угля в трубу-сушилку. Мелкая фракция поступает в бункер пыли, откуда насосами Фуллера подается частично на ТЭЦ и, частично, — в газогенератор.

С угольной пылью, которая подается на ТЭЦ, из системы должно выводиться столько золы, сколько ее поступает со свежим углем.

Газ после большого пылеотделителя разветвляется на 2 потока: синтезгаза и циркуляционного газа. Первый проходит пыльник и скруббер и газодувкой подается к потребителю. Второй проходит аналогичную систему очистки и при температуре 75 — 80°C , насыщенный водяными парами, необходимыми для процесса газификации, нагнетается циркуляционной газодувкой в регенератор. Циркуляционный газ нагревается до $1\,200^\circ\text{C}$ в двух регенераторах, переключаемых каждые 10 мин. Между генераторами и регенераторами нет отключающего устройства, разобщающего эти аппараты в момент разогрева регенератора. Для предупреждения перетоков газа предусмотрена паровая завеса в переходном штуцере между генератором и регенераторами. Кроме того, в регенераторе держат давление несколько выше (на 10 мм вод. ст.), чем в генераторе, обеспечивая постоянный небольшой переток дыма в синтезгаз. Для этой цели установлены соответствующие регуляторы давления.

Каждый регенератор с помощью шести горелок, расположенных в его куполе, отапливается газом, получаемым в специальной газогенераторной установке. Отопительный газ и воздух нагреваются до 400°C в чугунных угольчатых рекуператорах.

Таблица 1

Основные показатели производства технологического газа

Показатель	М е т о д ы				
	с циркуляцией газового теплоносителя		Дидье	на парокислородном дутье	
	Копперс	Шмальфельд		Винклер	Вюрт
Топливо, вес. %:	Буроугольные брикеты	Буроугольная пыль	Буроугольные брикеты	Буроугольный полукокс	Каменноугольный полукокс
влажность	15,4	55,9	15,4	4,0	2,0
зольность	5,5	2,9	5,5	22,0	9,0
Теплотворность, ккал/кг	5 100	2 620	5 100	6 350	7 380
Крупность, мм	овальные 60×40×40; содержание мелочи 5%	>6—25% 4—6—15% 2—4—20% 1—2—23% <1—16%	овальные 60×40×40	0—0,5—20% 0,5—2,0—40% 2,0—5,0—40%	20—80 мм Содержание мелочи 7%
Синтезгаз, объемн. %:					
CO ₂	13,4	15,4	11,8	23,0	6,0
H ₂	56,1	53,8	56,3	42,9	29,0
CO	27,9	26,2	28,4	31,9	64,0
CH ₄	1,6	2,2	1,3	2,2	0,0
N ₂	1,0	2,4	2,2	2,2	1,0
Теплотворность, ккал/нм ³	2 710	2 640	2 705	2 460	2 810
Производительность газогенератора по топливу, т/час	21,8	27,0	21,4	17,0	4,9
по газу, нм ³ /час	25 000	15 000	27 600	25 000	11 000
Напряжение сечения шахты по топливу, кг/м ² час	1 255	2 150	187	1 020	1 530
по газу, нм ³ /м ² час	1 440	1 190	240	1 500	3 450
Удельные выходы на 1 кг рабочего топлива:					
выход газа, нм ³ /кг	1,148	0,577	1,296	1,470	2,270
выход товарной смолы, вес. %	4,5	—	—	—	—
унос	8,6	7,5	2,0	16,0	8,0
твердый остаток, " "	22,9	14,9	25,5	45,0	—
содержание С в твердом остатке	60,0	67,0	58,0	50,0	—
Расходные коэффициенты на 1000 м ³ синтезгаза:					
рабочее топливо, т	0,875	1,795	0,775	0,680	0,410
пар (со стороны), т	0,19	0,236	0,90	—	0,21
электроэнергия, кВт/ч	36,49	—	11,40	—	—
кислород, нм ³	—	(90)	—	250	280
вода, нм ³	5,0	1,0	3,5	—	—

Основные показатели работы газогенератора Шмальфельд приведены в табл. 1.

Преимущества и недостатки методов Копперс и Шмальфельд приведены в табл. 2.

С эксплуатационной точки зрения обращают на себя внимание для метода Копперс повышенные требования к качеству топлива, а для метода Шмальфельд — трудности управления процессом (шлакование). Показатели работы печей Копперс сильно зависят от изменений качества брикетов. Большие скорости газов в печи, напряженный тепловой баланс отдельных зон, повышенный унос — все это предопределяет жесткие требования к качеству брикетов.

Эксплуатационная практика выработала следующие требования к брикетам: механическая прочность — 160—180 кг/см²; содержание мелочи — 5—8%; влажность — 15—20%.

Характерным примером трудностей при управлении процессом в генераторах Шмальфельд может явиться работа усановки в Шзарцхайде. Здесь в течение нескольких месяцев при освоении усановки не могли добиться устойчивого процесса, так как наблюдалось сильное шлакование стенок. Неоднократные попытки избежать шлакования не

успелись успехом и установка так и не была введена в нормальную эксплуатацию.

Таблица 2

Метод	Преимущества	Недостатки
Копперс	1. Более высокая производительность одного агрегата (25 000—30 000 м ³ /час) 2. Возможность получения смол (до 4% товарной смолы)	1. Необходимость брикетирования 2. Повышенные требования к качеству топлива (содержание мелочи до 5—8% и влажность до 15—20%)
Шмальфельд	1. Работа на сыром топливе (содержание влаги 50—55%) 2. Возможность использования мелочи топлива 3. Не нужен тонкий помол пыли (крупность топлива 0—6 мм)	1. Меньшая производительность одного агрегата (15000—20000 м ³ /час) 2. Отсутствие смол в качестве побочного продукта 3. Трудность управления процессом (шлакование)

Более удачным оказался опыт промышленного освоения четырех установок Шмальфельд в Лютцендорфе. Здесь в 1943 г. они проработали уже по несколько тысяч часов. Следует отметить, что хотя принципиальная технологическая схема установки

Остаточный кокс после охлаждения его паром и пребывания в разгрузочной коробке выгружается из печи и направляется на газогенераторную станцию для сортировки и дальнейшего использования.

Воздух и газ для отопления вертикалов нагреваются предварительно в рекуператорах за счет тепла дымовых газов, выходящих из вертикалов. Рекуператоры расположены рядом с камерами. Воздух и отопительный газ проходят по вертикальным каналам, а дымовые газы — по горизонтальным каналам рекуператора.

Движение газов — противоточное. Каждый рекуператор обслуживает две камеры. Из сборных каналов, находящихся наверху, воздух и газ поступают по специальным окнам в вертикалы, расположенные по обе стороны каждой камеры, где, сгорая, развивают температуру до $1\,350$ — $1\,380^\circ\text{C}$. Посередине вертикала подается вторичный воздух для дожига. Горячие потоки газа, опускаясь вниз, нагревают стенки камер и находящееся в них топливо.

На выходе из вертикалов дымовые газы, имея температуру $1\,100$ — $1\,150^\circ\text{C}$, поступают в рекуператор для нагрева воздуха и отопительного газа. После рекуператора дымовые газы, температурой 600 — 650°C , идут в обогревательные каналы сушилки для нагрева свежего топлива, поступающего из бункера. Температура газа на выходе из сушилки 250 — 300°C . Топливо нагревается в сушилке не выше 350°C , чтобы предотвратить опасность ее засмоления.

На заводе в Шварцхайде было установлено 80 камер (шириной наверху 320 мм, внизу 360 мм, длиной $4\,235$ мм и высотой $12\,540$ мм), скомпонованных в 2 блока по 40 камер в каждом. Общий габарит блока: ширина — $12,5$ м, длина $42,2$ м.

II группа методов — с внешним обогревом реакционного пространства

К таким установкам относится установка Дидье (рис. 3) на заводе в Шварцхайде, сооруженная в 1936 г. Работала она на буроугольных брикетах той же характеристики, что и для печей Копперс.

Брикеты выгружаются из вагонов в приемные бункеры и ленточным транспортером периодически подаются в бункеры печной установки. Отсюда через напорную коробку брикеты поступают в сушильную камеру, где нагреваются до 350°C за счет тепла отходящих дымовых газов. Следуя дальше в реакционную камеру, топливо интенсивно нагревается за счет тепла сжигания газа в вертикалах. Швельпродукты — пары смолы, швельгаз и водяные пары — в потоке с топливом опускаются вниз, где в зоне высоких температур подвергаются разложению.

Вверху и внизу камеры подается водяной пар, реагирующий с раскаленным коксом, давая водяной газ. Нижний водяной пар одновременно охлаждает остаточный кокс.

Весь получаемый газ (смесь водяного газа и продуктов пиролиза и конверсии) отводится из печи при 750 — 800°C и направляется на охлаждение и очистку.

Регулировка состава газа производится при регулировке количества водяного пара, подаваемого в печь.

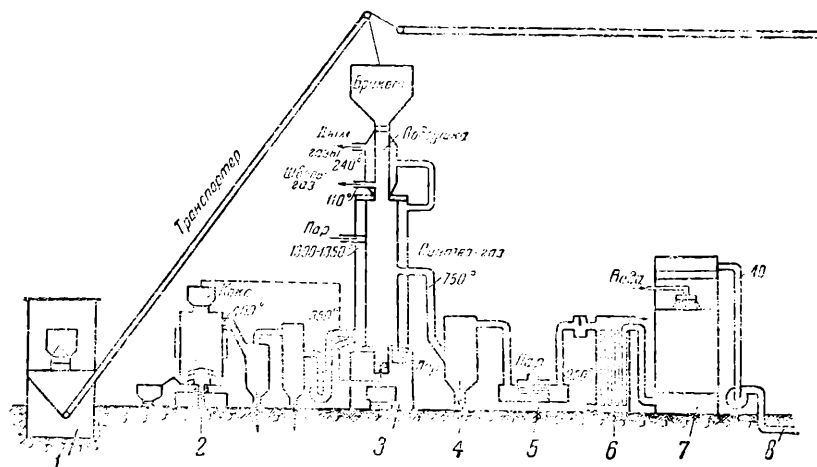


Рис. 3. Технологическая схема установки Дидье: 1 — бункер; 2 — воздух, шесть газогенераторов с пылеотделителями; 3 — печи Дидье; 4 — пылеотделитель; 5 — два котла утилизатора; 6 — трубчатый холодильник; 7 — скруббер; 8 — синтезгаз.

Примечание. Производительность одного блока печей $20\,000$ м^3 синтезгаза в час; расход: брикета 360 т/сутки; выход 1340 м^3 синтезгаза/т брикета, 240 кг кокса/т брикета. Состав синтезгаза: 12% CO_2 ; 0% C_2H_6 ; 0% O_2 ; 28% CO ; 84% $\text{H}_2 + \text{CO}$; 56% H_2 ; 2% CH_4 ; 2% N_2 ; $\text{H}_2 : \text{CO} = 2$.

Каждая печь (из четырех камер) может быть остановлена независимо от работы других печей.

Полукокс из пневмотрубы поступает в циклон, где частицы полукокса выделяются из потока азота. Из циклона азот попадает в систему обеспыливания (бета-фильтры и мокрая пылеочистка). Здесь выделяется мелкая пыль, унесенная потоком газа из циклона, а азот выбрасывается в атмосферу. Полукокс из циклона и мелкая пыль из бета-фильтра поступают в бункер газогенератора емкостью 300 т, откуда тремя шнеками подаются в шахту газогенератора.

3. Меньшая производительность агрегата (20 000—25 000 м³/час) по сравнению с генераторами в Лейна (40 000—45 000 м³/час).

Выход из строя очень крупных агрегатов резко сказывается на газовом балансе завода. Кроме того, при меньших агрегатах необходим меньший резерв оборудования.

4. Более простая компоновка аппаратуры и коммуникации.

По остальным показателям работы различия между установками в Лейна, Бёлене и Цайтце невелики.

Основные данные по работе газогенераторов Винклер на бурогольном полукоксе приведены в табл. 1.

Газогенераторы с жидким шлакоудалением

В Германии промышленно освоены газогенераторы с жидким шлакоудалением на парокислородном дутье системы Вюрт (заводы в Лейна и Освенциме), промышленные опыты велись также в газогенераторе системы Тиссен-Галочи.

Основные показатели работы генератора на заводе Лейна приведены в табл. 1.

С точки зрения направления, по которому развивался метод газификации с жидким шлакоудалением, представляет интерес газогенератор Тиссен-Галочи. До войны на газогенераторе Галочи велись только опытные работы. Известны две опытные установки: одна на заводе Тиссен в Дюисбурге, производительностью 2 т в сутки, работавшая на битуминозных углях, а другая в Венгрии в Пеше на заводе синтетического аммиака, производительностью 10 т в сутки. Результаты их работы дали основание построить в 1941—1943 гг. на заводе жидкого топлива в Ванне-Эйкель (вблизи Бохума) крупную опытнопромышленную установку производительностью около 50 т в сутки. Основные размеры газогенератора: диаметр шахты 3 м, горна — 1,35 м; высота 12 м. Принципиальным отличием работы этого газогенератора является подача в его горн части газа для разогрева и повышения температуры в нижней зоне. Опыты проводились в ноябре 1943 г. и в феврале 1944 г. и дали следующие результаты:

производительность газогенератора 40—50 т/сутки каменноугольного кокса, размером 40—60 мм ($A_p = 8,5$, $W_p = 5,0\%$; $Q = 6\,900$ кал/кг); напряжение сечения шахты 250—300 кг/м² *час; производительность газогенератора по газу (с учетом расхода вспомогательного газа) 4 000—4 500 нм³/час; состав газа: $CO_2 = 2,8\%$, $CO = 70,5\%$, $H_2 = 23,1\%$; $CH_4 = 0,2\%$, $N_2 = 3,4\%$, $Q = 3\,040$ кал/нм³. Расход на 1 000 м³ газа:

а) 100% кислорода — 240—250 нм³

б) водяного пара — 230 кг

в) вспомогательного газа — 130—150 нм³.

В 1944 г. установка генератора Тиссен-Галочи в Ванне-Эйкель была разрушена.

Таблица 4

Результат опытов по газификации различных углей под давлением для получения технологического газа

Показатель	Т о п л и в о						
	верхне-силезский каменный уголь	швелькок из верхне-силезского каменного угля	швелькок из каменного угля	бурогольный швелькок	японский уголь	судетский бурый уголь	судетский бурый уголь
Дата опыта	17/IX 1938	15/IX 1938	13/IV 1939	9/IV 1939	21/IX 1937	8/VIII 1939	30/VII 1939
Давление в газогенераторе, атм	5	9	5	12	5	10	10
Напряжение сечения шахты, кг/м ² час	289	297	200	800	332	1060	815
Технический анализ угля, %:							
A_p весов.	6,4	10,2	5,8	20,7	13,1	9,5	5,0
W_p "	7,2	17,6	6,4	20,1	10,2	34,8	22,0
V_c "	32,3	8,4	—	8,8	—	32,4	38,2
Теплотворность, кал/кг	6626	5602	—	4736	5781	—	—
Концентрация O_2 в техническом кислороде, %	83,2	77,1	88,6	79,2	78,4	83,5	86,4
Удельный расход 100% O_2 на чистый газ, нм ³ /нм ³	0,186	0,194	0,202	0,17	0,176	0,164	0,162
Удельный расход водяного пара ($t=500^\circ C$) на чистый газ, кг/нм ³	0,975	1,05	1,16	1,31	1,06	1,03	1,16
Выход чистого газа из рабочего топлива, нм ³ /кг	1,465	1,41	1,98	1,1	1,37	0,71	0,9
Состав чистого газа, %:							
$CO_2 + H_2S$	1,2	1,0	1,0	1,0	2,0	1,2	1,0
$C_n H_m$	0,5	0,3	0,0	0,4	0,1	1,0	1,2
O_2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
CO	28,9	28,6	30,4	23,3	27,4	23,5	25,9
H_2	56,4	55,4	60,0	63,3	57,0	55,6	52,9
CH_4	8,8	8,7	3,8	9,9	6,2	15,0	17,2
N_2	4,1	5,9	4,7	2,0	7,2	3,6	1,8
Соотношение $CO:H_2$	1:1,95	1:1,94	1:1,975	1:2,72	1:2,08	1:2,37	1:2,04

Получение технологического газа в генераторах Лурги

В связи с большим объемом проведенных опытных работ заслуживает внимания также метод производства технологического газа при высоких давлениях. Этот процесс, как известно, представляет интерес в связи с увеличением удельных производительностей, меньшим объемом аппаратуры, ее компактностью и значительным уменьшением расхода кислорода по сравнению с газификацией при обычных давлениях. Результаты опытов даны в табл. 4.

Как видно из табл. 4, результаты не могут считаться удовлетворительными, главным образом, из-за высокого содержания CH_4 в получаемом газе. Требуемое для технологического газа соотношение $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:2$ в большинстве случаев удается выдержать; однако содержание CH_4 остается высоким (7—8%) даже при горячем ходе газогенератора, т. е. при небольшом соотношении кислорода и водяного пара в дутье.

Опыт по газификации каменноугольного швелькокса, проведенный в условиях присадки угле-

кислоты (экспансерный газ) к дутью, привел к некоторому уменьшению процента CH_4 в газе, но все же содержание CH_4 в чистом газе составляло 3,8%. Таким образом, метод Лурги надо рассматривать как способ получения высококалорийного городского газа, потому что высокие давления благоприятствуют образованию метана.

* * *

Подводя итоги вышесказанному, можно отметить большое разнообразие методов получения технологического газа на заводах жидкого топлива. Наиболее распространенными и освоенными следует считать методы Вилклер и Копперс, а также обычные газогенераторы водяного газа на парокислородном дутье. Эксплуатационно освоены газогенераторы Вюрт. Метод Шмальфельд требует промышленной доработки. Мало перспективен для производства технологического газа метод Лурги; зато этот метод весьма перспективен для производства городского газа.

Новые методы получения технологического газа требуют критической оценки для практического внедрения в нашу промышленность.

Очистка генераторного газа из древесины от смолы в электрофильтрах пластинчатого типа

Н. В. ЧАЛОВ и В. А. ЛЯМИН

(Члены Общества пищевиков)

Электрофильтры нашли широкое применение в промышленности. Накоплен большой опыт улавливания с их помощью серной, азотной и фосфорной кислот, очистки газов в цветной металлургии, очистки доменного газа от пыли, очистки генераторного газа из бурых углей и т. д.

Для очистки генераторного газа из древесины электрофильтры в СССР были впервые применены еще в 1929 г. Однако, несмотря на прошедший длительный период времени, этот опыт работы до сих пор не обобщен и не опубликован, за исключением весьма кратких данных (1).

Для частичного хотя бы разрешения вопросов очистки генераторного газа из древесины мы произвели испытание электрофильтров на газогенераторной станции в местечке «Белый Бычок», где газифицируется щепа.

Описание электрофильтров

На станции установлены 2 электрофильтра. Камеры их — двухсекционные (рис. 1, 2 и 3), пластинчатого типа. Секции соединены последовательно. В каждой из них имеется 9 заземленных пластинчатых электродов размерами 2100×3600 мм, на расстоянии 285 мм друг от друга. Между этими электродами помещена рама коронирующей системы. Расстояние между проволоками системы — 230 мм. Объем поля коронного разряда $14,86 \text{ м}^3$ в каждой секции. Секции отделены друг от друга перегородкой. Окно в перегородке по ширине равно общей

ширине камеры, а по высоте составляет 3350 мм. Ток высокого напряжения вводится с помощью масляных затворов, заключенных в кожух, обогреваемый паром. На входе в электрофильтр в газопроводе поставлены жалюзи, которые распределяют газозый поток по сечению камеры.

Как видно из чертежа, камеры электрофильтров имеют большой вредный объем, вследствие чего часть газа может проходить через секцию, минуя поле коронного разряда. Полный объем секции — $33,0 \text{ м}^3$, из них только $14,86 \text{ м}^3$ занимает поле коронного разряда. Такое конструктивное оформление камеры совершенно нерационально.

Методика исследований

Работа электрофильтров изучалась в условиях эксплуатации. Определение напряжения тока, подаваемого в камеры, и градуировка повысительно-выпрямительного агрегата были произведены шаровым разрядником с диаметром шаров 62,5 мм (2). Сила тока высокого напряжения измерялась заводским миллиамперметром, сверенным с эталонным. Показатели даны с учетом поправки на утечку через изоляторы и масло затвора.

Содержание в газе смолы, воды и уксусной кислоты определялось по методу А. А. Ливеровского и Н. В. Чалова (3). Отбор средней пробы сырого газа производился в течение 6—10 час. (таким образом, каждое из полученных значений является средним за 6—10 час. работы электрофильтра). Количество

сухого газа, проходящего через электрофильтр, замерялось трубкой Вентури на газопроводе сухого газа. Количество сырого газа вычислялось на основании данных анализа конденсируемой его части, причем смола принималась в капельно-жидком, а не в парообразном состоянии. Помимо определения состава конденсируемой части сырого и обессмолен-

ного газа, опыта № 10 при весьма малой производительности и добиться коэффициента очистки газа 95%. Исследования, произведенные нами ранее на опытной установке (4), показали, что для получения смолы с малой влажностью температура газа в электрофильтрах должна составлять 80—85°C. Проведение таких опытов в производственных условиях требовало повышения температуры выходящего из генераторов газа, для чего надо было уменьшить слой топлива. Поскольку, по мнению администрации станции, в таком случае был возможен прогар в одном из генераторов и увеличение количества кислорода в газе, в

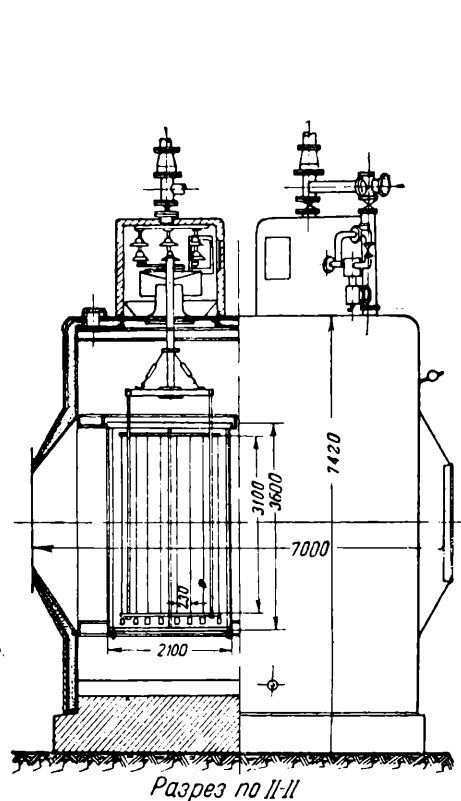


Рис. 1

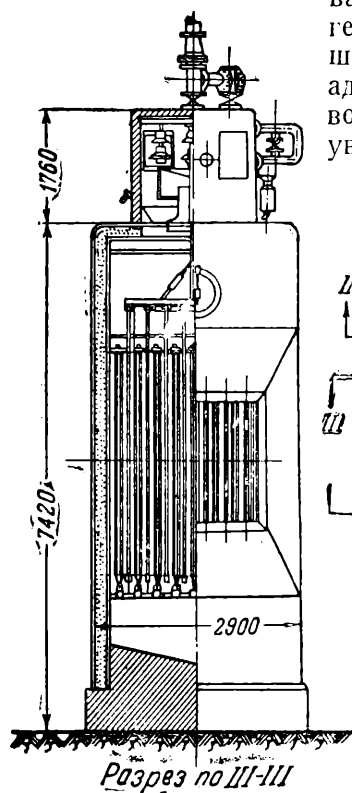


Рис. 2

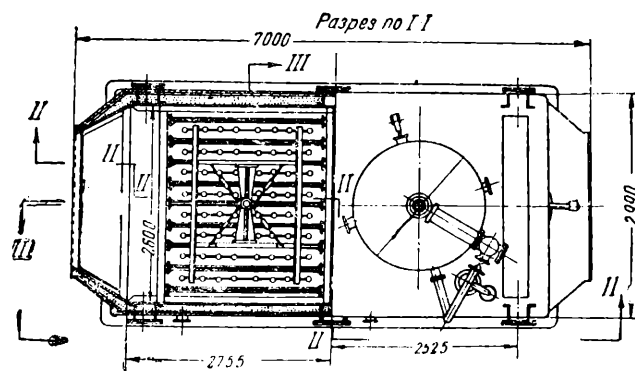


Рис. 3

Рис. 1. Камера электрофильтров (продольный разрез)

Рис. 2. Камера электрофильтров (поперечный разрез)

Рис. 3. План камер электрофильтров

ного газа велось учет и характеристика смолы, выделенной из газа в электрофильтрах. Испытание длилось месяц.

Экспериментальные работы и их результаты (табл. 1)

Согласно опытам №№ 1—8 на процесс очистки газа от смолы сильное влияние оказывает градиент напряжения: чем он больше, тем выше степень очистки газа от смолы. Однако увеличить напряжение более 176 в на низкой стороне (что соответствует градиенту напряжения 4,00 кВ/м) нам не удалось вследствие частых пробоев и невозможности поддерживать стабильную работу электрофильтра хотя бы в течение небольшого периода времени. Даже при максимально возможном градиенте напряжения (см. опыт № 1) коэффициент очистки газа от смолы был только 90%, что показывало перегрузку электрофильтра газом. Малый ток короны, равный всего 0,137 ма на 1 пог. м проволоки коронирующей системы, также свидетельствовал о перегрузке электрофильтра газом. К сожалению, в производственных условиях было очень затруднительно экспериментировать при различной производительности, так как имелись всего две камеры электрофильтров. Только в период остановки на ремонт одной из печей, когда производительность всей газогенераторной станции снизилась в два раза, удалось провести

результате чего появлялась опасность взрыва в электрофильтрах, нам удалось провести лишь один опыт (№ 9) при температуре газа в электрофильтрах 83°C.

Полученные результаты позволяют выявить следующие закономерности в работе электрофильтров.

Судя по графику влияния градиента напряжения на процесс очистки газа от смолы (рис. 4), при пребывании газа в электрофильтрах от 6,29 до 7,58 сек., максимальное значение коэффициента очистки его от смолы (90%) лежит в точке перегиба. При дальнейшем повышении градиента напряжения, видимо, удалось бы довести этот коэффициент до 95%, однако такое увеличение напряжения, как уже отмечалось, было невозможным.

Влияние времени пребывания газа в электрофильтре можно установить на основании опытов №№ 2 и 10, в которых градиент напряжения одинаков. Как видим, достигнуть повышения коэффициента очистки газа от смолы до 95% можно только при увеличении времени пребывания газа в поле короны до 13,1 сек. и снижении соответственно скорости газа до 0,32 м/сек.

В дополнение к опытам №№ 2 и 10 мы провели еще ряд испытаний (табл. 2).

В опытах №№ 11 и 12 ток высокого напряжения подавался только в первую секцию электрофильтра, что позволило сократить время пребывания газа

Таблица 1

Очистка генераторного газа в электрофильтрах в зависимости от градиента напряжения температуры и времени пребывания газа в поле короны

Наименование	№№ опытов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура газа на входе, °С	75,0	76,0	74,5	75,0	74,5	75,5	75,5	75,5	83,1	77,5
Температура газа на выходе, °С	74,0	75,5	74,0	74,0	74,0	75,0	75,0	75,0	81,0	76,5
Скорость газа в поле короны, м/сек.	0,61	0,60	0,57	0,61	0,55	0,67	0,57	0,58	0,57	0,32
Время пребывания в поле короны, сек.	6,84	7,00	7,43	6,90	7,58	6,29	7,39	7,23	7,43	13,1
Напряжение тока на низкой стороне трансформатора, в	176,0	169,5	160,0	149,7	140,5	130,0	111,2	0,0	170,0	170,0
Градиент напряжения между электродами, кв/см	4,00	3,86	3,62	3,32	3,10	2,80	2,24	0,0	3,90	3,90
Сила тока высокого напряжения, отнесенная к 1 пог./м проволоки коронирующей системы, ма/м, В газе, поступающем в электрофильтр, содержится, г/нм ³ :	0,137	0,111	0,094	0,068	0,047	0,025	0,005	0,0	0,123	0,230
смоли	88,89	85,44	87,10	83,47	88,30	87,31	88,33	89,15	86,3	82,40
уксусной кислоты	20,50	22,76	22,15	23,20	23,67	23,67	23,07	22,11	22,8	21,16
воды	475,4	474,1	489,2	475,6	500,4	476,8	491,7	506,9	493,0	484,2
В газе после электрофильтров содержится, г/нм ³ :										
смоли	8,89	9,34	10,50	11,57	12,8	17,10	21,73	87,60	8,69	4,16
уксусной кислоты	12,22	13,50	13,96	15,43	15,90	16,81	17,83	21,65	17,20	14,82
воды	418,3	420,4	438,5	423,5	459,7	443,9	463,9	501,8	466,0	445,0
Коэффициент выделения из газа, %:										
смоли	90,0	89,4	88,0	87,4	85,5	80,4	75,5	1,70	89,5	95,0
уксусной кислоты	40,6	40,6	41,4	33,2	32,8	29,0	22,70	2,54	24,5	30,0
воды	12,0	11,3	10,4	10,9	9,05	6,90	5,40	1,01	5,48	8,12
Количество сырой смолы, выделенной из газа, г/нм ³	145,4	137,1	135,6	131,6	129,0	110,0	100,0	—	107,2	123,8
Состав сырой смолы, %:										
смола	54,3	53,61	56,70	53,81	57,74	63,00	66,58	—	72,5	63,18
уксусная кислота	5,72	6,70	6,01	5,90	6,05	6,25	6,56	—	5,20	5,12
вода	38,55	38,40	36,81	39,00	35,00	29,44	26,86	—	22,5	31,7
Состав смолы после отстоя, %:										
смола	73,63	72,89	74,54	72,10	70,56	69,00	67,60	—	70,5	70,17
уксусная кислота	5,83	6,94	5,16	5,30	5,62	5,00	5,23	—	5,2	4,53
вода	20,84	20,17	20,30	22,60	23,82	26,00	27,17	—	24,3	29,8
Состав кислой воды, отделенной от смолы при отстое, %:										
смола	39,60	36,48	36,20	37,80	38,5	36,20	—	21,68	—	34,20
уксусная кислота	6,00	6,60	7,90	6,70	7,40	7,20	—	7,85	—	6,80
вода	57,08	57,50	55,90	55,60	54,10	56,40	—	70,50	—	59,00

в поле короны до 2,14 сек. В остальных случаях работали обе секции.

На рис. 5 показана зависимость коэффициентов очистки газа от смолы от времени его пребывания в поле короны при постоянном градиенте напряжения. Как следует из приведенных данных, основная часть смолы выделяется из газа уже в первые секунды его нахождения в поле короны. Даже при градиенте напряжения 2,81 кв/см, в первые 2 сек. выделяется 58% смолы. Дальнейшая очистка газа идет много медленнее и для выделения 95% смолы необходимо (по опыту № 10) не менее 13 сек. Время пребывания газа в поле короны определяет производительность электрофильтра. Установленные на станции электрофильтры рассчитаны на 6 сек. Как показывают наши исследования, для хорошей очистки газ должен быть в поле короны 13 сек., т. е. в 2 раза дольше. Следовательно, электрофильтры не могут обеспечить требуемую очистку газа при полной производительности станции.

Сила тока короны, как мы видели, зависит от времени пребывания газа в поле короны, т. е. от степени загрузки электрофильтра газом. На рис. 6 приведены значения тока короны в миллиамперах на 1 пог. м проволоки коронирующей системы на воздухе и при различном времени пребывания газа в поле короны (или скорости газа). Согласно графику

поток газа оказывает значительное сопротивление проходящему току и уменьшает ток короны в несколько раз.

На рис. 7 показана зависимость коэффициентов очистки при различных градиентах напряжения; все они образовали плавную кривую. Это показывает, что основным фактором, определяющим степень очистки газа в электрофильтрах, является сила тока короны. Минимальный ток короны, при котором обеспечивается требуемая степень очистки газа, должен быть не менее 0,1 ма на 1 м проволоки коронирующей системы (увеличение силы тока свыше 0,15 ма не дает существенных преимуществ). Основываясь на этом, с помощью графика на рис. 5, можно легко определить режим работы электрофильтра в зависимости от требуемой степени очистки газа.

По эксплуатационным данным стабильная работа электрофильтра возможна при напряжении 165 в на низкой стороне трансформатора, что соответствует градиенту напряжения 3,76 кв на 1 см расстояния между заземлением и коронирующим электродом.

Как уже отмечалось, сила тока короны должна быть не менее 0,1 ма на 1 м проволоки коронирующей системы. При соблюдении этих условий время, требующееся для необходимой очистки газа, определяется кривой, представленной на рис. 6.

Максимальное достигнутое значение коэффициента очистки газа от смолы составляло 95%. Встает вопрос о возможности увеличения этого коэффициента до 99%, как при очистке газа от пыли, серно-кислотного тумана и т. д. Мы установили, что от 3 до 4% общего количества смол находятся в паро-

образном, а не в капельно-жидком состоянии (табл. 3). Однако во всех опытах, даже в опыте № 9, где температура газа была 81°, из газа выделялось от 17 до 57 г воды на 1 м³ газа. Отсюда можно, казалось бы, заключить, что под влиянием тока короны происходит конденсация

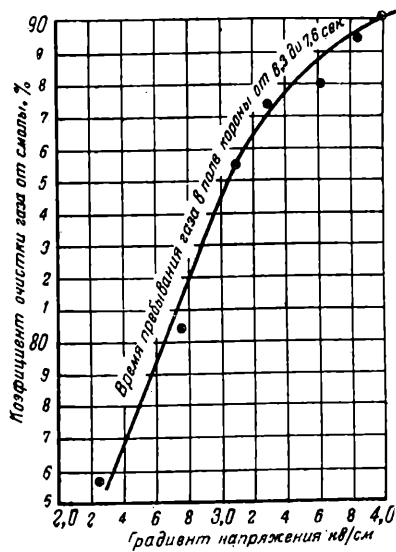


Рис. 4

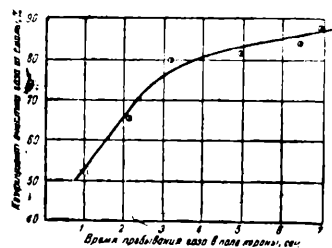


Рис. 5

Рис. 4. Коэффициенты очистки газа от смолы в зависимости от градиента напряжения

Рис. 5. Коэффициенты очистки газа от смолы в зависимости от времени пребывания в поле короны (градиент напряжения 3,33 кВ/см)

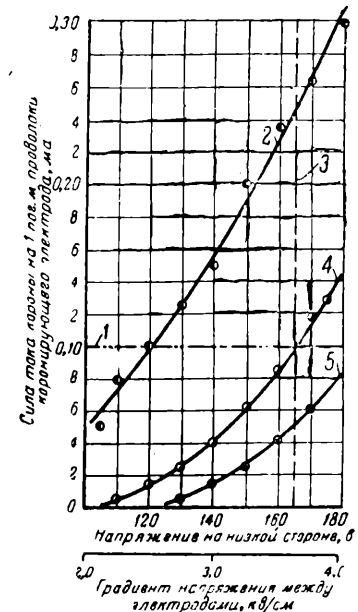


Рис. 6. Ток короны в зависимости от скорости газа (загрузки фильтра газом): 1 — минимальный ток короны; 2 — на воздухе скорость 0; 3 — линия устойчивой работы электрофильтра; 4 — скорость газа 0,6 м/сек, время пребывания в поле короны 7 сек; 5 — скорость газа 1,2 м/сек, время пребывания в поле короны 3,5 сек.

образном, а не в капельно-жидком состоянии (5), следовательно, эту часть смол нельзя выделить из газа, и действительный максимальный коэффициент будет равен 98—99%. Учитывая большое начальное содержание смолы в газе, такой коэффициент очистки следует считать очень хорошим.

Количество воды, выделяемое из газа в электрофильтрах, изменяется от 5,4 до 12,0% от содержания ее в газе перед электрофильтрами. Как следует из табл. 1, в опытах №№ 1—7 количество выделенной из газа воды увеличивается с повышением градиента напряжения с 5 до 12%. Однако эта закономерность — кажущаяся. В опытах №№ 1, 3, 4, 5 и 8 содержание влаги в газе, поступающем в электрофильтр, больше предельного содержания влаги при температуре газа, выходящего из скруббера, на 12—38 г из 1 м³ газа. Следовательно, в этих опытах в газе содержалось от 12 до 38 г/м³

паров воды из газа. Такой вывод неверен по следующим соображениям. В опыте № 8 ток высокого напряжения не подавался. При прохождении газа через электрофильтр температура газа снизилась на 0,5° С. Во всех остальных опытах, когда электрофильтр работал, падение температуры также было 0,5—1,0°. Если бы под влиянием тока короны происходила частичная конденсация паров воды, то

Таблица 2
Коэффициенты очистки газа от смолы в зависимости от времени пребывания в поле короны

№ опытов	Температура газа °С		Время пребывания газа в поле короны, сек.	Линейная скорость газа, м/сек.	Напряжение тока на низкой стороне, в	Градиент напряжения, кВ/см	Сила тока короны, м ³ /м	Коэффициент очистки газа от смолы, %
	до	после						
	электрофильтров							
11	75,0	75,0	2,14	0,98	152	3,36	0,0095	65,8
12	75,0	74,5	2,20	0,95	130	2,81	0,0075	58,0
13	74,5	74,5	3,20	1,30	150	3,33	0,025	79,0
14	75,0	74,0	4,95	0,85	150	3,33	0,036	84,6
15	74,5	74,0	6,41	0,66	150	3,33	0,044	84,0
4	75,0	74,0	6,90	0,61	149,7	3,32	0,068	87,4

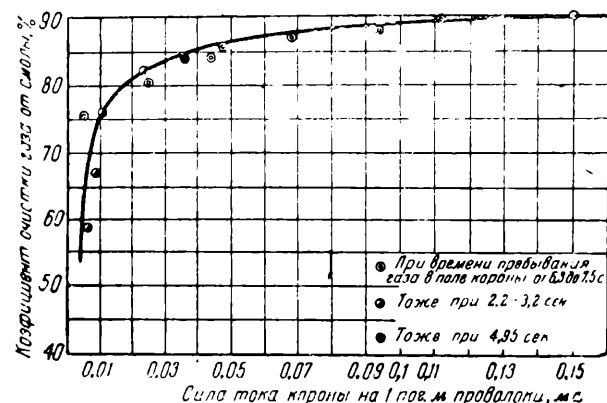


Рис. 7. Коэффициенты очистки газа от смолы в зависимости от тока короны

вследствие выделения скрытой теплоты при конденсации было бы отмечено повышение температуры газа. По опытным данным, в электрофильтрах вы-

Таблица 3

Показатели выделения воды из газа в электрофильтрах

Наименование	№№ опытов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура газа при выходе из электрофильтров, °С	74,0	75,5	74,0	74,0	74,0	75,0	75,0	75,0	81,0	76,5
Содержание воды в газе, г/нм ³	475,4	474,1	489,2	475,6	500,4	476,8	490,7	506,9	493,0	484,2
Предельное насыщение газа парами воды при температуре газа, выходящего из электрофильтров, г/нм ³	462,3	512	462,3	462,3	462,3	494,4	494,4	494,4	763,4	548,0
Находится в газе воды в капельно-жидком состоянии, г/см ³	12,7	—	26,9	13,3	38,1	—	—	12,5	—	—
Выделено из газа воды в электрофильтрах, г/см ³	57,1	58,7	50,7	52,1	40,7	32,9	26,8	—	27,0	39,2

деляется до 50 г/нм³ воды; конденсация такого количества влаги обусловит выделение около 20 кал/нм³ тепла газа, что приведет к повышению температуры сырого газа на 15—20° С. В действительности наблюдается падение температуры на 0,5—1,0° С. На основании этих данных следует считать твердо установленным, что вода, выделяемая в электрофильтрах, находилась в поступающем в них газе в капельно-жидком состоянии и явления конденсации паров воды из газа под влиянием короны (тихого разряда) не происходит.

Для получения смолы с малым влагосодержанием должны быть приняты меры к повышению температуры газа, поступающего в электрофильтр.

Нагрев газа до 83°С (опыт № 9) позволил получить смолу с влажностью 22%. Исследования (6), проведенные на газогенераторной станции Уральского завода, установили, что при повышении температуры газа до 85°С влажность смолы составляет 16—18%. Дальнейшее увеличение температуры нецелесообразно, так как влажность смолы впоследствии не уменьшается, а количество смолы, находящейся в газе в парообразном состоянии, начинает быстро расти, что ведет к снижению степени очистки газа от смолы.

Повышение температуры газа перед электрофильтрами может быть достигнуто:

- 1) применением для газификации древесины с влажностью не свыше 30%,
- 2) снижением слоя топлива в генераторе,
- 3) подогревом газа специальными горелками, как применено на газогенераторной станции УЗТМ (7).

Количество уксусной кислоты, выделенной из газа при нормальном температурном режиме (опыт № 9), составляет 24,3% от содержания кислоты в газе перед электрофильтрами. В опыте № 1 это количество равнялось 40,6%, что является следствием абсорбции кислоты водю, находящейся в газе в капельно-жидком состоянии.

Неполадки в работе электрофильтров

Основными затруднениями при эксплуатации электрофильтров являются коррозия железных заземленных электродов и частые обрывы проволок коронирующей системы.

Железные пластинчатые электроды толщиной 4 мм выходили из строя через 25 дней работы. После того как по нашему предложению (8) железные пластины заземленных электродов были заменены деревянными, первое затруднение отпало. Дерево, смоченное смолой, содержащей уксусную кислоту, является хорошим проводником тока высокого напряжения.

Обрывы проволок коронирующей системы происходили у нижней планки рамы, в месте прохода проволок через отверстие в раме. Обследование показало, что обрыв проволок является результатом излома, который происходит вследствие их вибрации под влиянием газового потока и искровых разрядов внутри камеры между электродами. Обрывы уменьшились после того, как проволоку коронирующей системы в месте прохода через нижнюю планку стали крепить на нескольких петлях в виде цепочки из нескольких звеньев, составленных из той же проволоки. Продолжительность стабильной работы электрофильтров увеличилась до 60 суток.

Для хорошей очистки газа большое значение имеет способ подвески грузов, натягивающих проволоку. Первоначально груз в 2,5 кг помещался между пластинами. Этот способ был предложен исходя из того, что шаровая поверхность груза исключает возможность пробоя. На воздухе при таком креплении действительно достигаются высокие градиенты напряжения, но при работе на газе, как только поверхность груза будет смочена смолой, начинаются пробой при градиенте напряжения 2,8 кВ/см. Тогда грузы были подвешены ниже заземления пластин, на расстоянии 500 мм, и градиент напряжения удалось поднять до 3,3 кВ/см, что, однако, недостаточно для хорошей очистки. Как указывалось, основная часть смолы выделяется в самом начале пути между электродами. Смола с заземленных электродов стекает в этом месте сплошными струйками. Вследствие неравномерности в движении газа, завихрений его и других причин, струя смолы, стекающая с заземленного электрода, попадает на груз и при этом происходит пробой. Для устранения такого явления мы удалили грузы и закрепили проволоку коронирующей системы на нижней планке рамы последней. В результате удалось поднять градиент напряжения до 3,6 кВ/см.

Практика работы показала, что целесообразнее секции электрофильтров питать током высокого напряжения раздельно. Это позволяет повысить градиент напряжения на вторых секциях до 4,0 кВ/см и улучшить очистку газа от смолы.

Выводы

1. В электрофильтрах пластинчатого типа можно очистить от смолы газогенераторный газ из древесины на 95% от общего количества смол, находящихся в газе и на 99% от смол, находящихся в капельно-жидком состоянии (в виде тумана).

2. Для такой очистки газа от смолы необходимо, чтобы газ пребывал в поле короны 10—14 сек., а скорость его между электродами была в пределах 0,3—0,4 м/сек.

3. Температура газа, поступающего в электрофильтр, должна составлять 82—85 °С, т. е. на 8—10 °С выше точки росы. При этих условиях влажность смолы будет 20—25% и потери уксусной кислоты не превысят 25%.

4. Надо учитывать необходимость довольно частых остановок камер электрофильтров для устранения

обрывов проволок коронирующей системы, поэтому при проектировании следует предусматривать соответствующий резерв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Чалов, Утилизация побочных продуктов газификации древесины, Москва, Гослестехиздат, 1940.
2. А. М. Залесский, А. В. Сорокин, К. С. Стефанов, Руководство работами в лаборатории высокого напряжения, Москва, КУБУЧ, 1934.
3. А. А. Ливеровский и Н. В. Чалов, «Лесотехническая промышленность», № 8 и 9 за 1935 г.
4. А. А. Ливеровский и Н. В. Чалов, Отчет по теме № 377а ЛЕННИЛХИ, 1934, Архив ВНИИГСа, Ленинград.
5. Н. В. Чалов, Отчет по теме № 26 за 1939 г. Архив ВНИИГСа.
6. Н. В. Чалов, «Лесотехническая промышленность», № 3—4, 7, 1938.
7. Д. Б. Гинзбург, Газогенераторные установки, ч. II, стр. 86, Государственное издательство легкой промышленности, 1937.
8. В. А. Лямин и Н. В. Чалов, Авторское свидетельство № 51587, выдано 31/VIII 1937 г. Народным комиссариатом тяжелой промышленности.

Хроника научных инженерно-технических обществ

ВО ВСЕСОЮЗНОМ СОВЕТЕ НИТО

1. Избрание председателя Оргбюро ВСНИТО

На заседании Оргбюро ВСНИТО 16 декабря 1946 г. постановлено: избрать академика ЧУДАКОВА Евгения Алексеевича председателем Оргбюро Всесоюзного совета научных инженерно-технических обществ.

II. О работе обществ в 1947 г. в области автоматизации производственных процессов

Оргбюро ВСНИТО, учитывая большую народнохозяйственную значимость проблемы автоматизации производственных процессов, постановило:

- а) организовать при ВСНИТО и всех ВНИТО комиссии содействия автоматизации производственных процессов;
- б) в план работы всех ВНИТО включить тему «Обобщение научно-технического опыта по автоматизации производственных процессов» (анализ современного состояния и ближайших научно-технических тенденций в области автоматизации по соответствующим отраслям народного хозяйства; выявление, отбор и краткая характеристика тяжелых и трудоемких работ, автоматизация которых может дать значительный экономический эффект; выбор путей и методов ав-

томатизации каждого из указанных процессов: обоснование метода и выдвигаемых им научно-технических задач, установление возможностей серийного изготовления средств автоматизации, технико-экономические показатели намечаемого метода автоматизации);

в) комиссию ВСНИТО по содействию автоматизации производственных процессов утвердить в следующем составе: Лебедев В. П. (председатель), Михайлов В. З. (ученый секретарь) и представители соответствующих комиссий ВНИТО, и возложить на эту комиссию следующие функции:

- 1) координирование и направление деятельности комиссий при ВНИТО,
- 2) организация обмена научно-техническим опытом в области автоматизации,
- 3) оценка творческих предложений в области автоматизации по вопросам, имеющим межотраслевое значение,
- 4) рекомендация для серийного производства устройств из стандартных элементов;
- г) установить, что комиссии содействия автоматизации производственных процессов в своей экспериментальной деятельности опираются на Всесоюзный научно-исследовательский институт автоматизации ВСНИТО.

В ЛЕНИНГРАДСКОМ СОВЕТЕ НИТО

Научным инженерно-техническим Обществом энергетиков создан Комитет по газификации. Задачей этого Комитета является помощь предприятиям, занятым разрешением проблемы газификации города. Комитет организует доклады и консультации, проводит для обмена опытом общегородские совещания, издает популярную литературу по вопросам газификации и освещает их в периодической печати: в «Ленинградской правде» и журнале «За экономию топлива».

Комитет принимал участие в составлении и рассмотрении тематики научно-исследовательских работ по газовому делу институтов Ленинграда (НИИ, ВНИИПС, ВНИИМ и др.), составил перечень актуальных тем дипломного проектирования для ряда вузов.

Существенная помощь хозяйственным, проектным и исследовательским организациям была оказана Комитетом при обсуждении проектных материалов, исследовательских работ, изобретений и предложений.

Комитет работает в тесном контакте с научно-техническим Советом ТЭУ Ленгорисполкома по вопросам газификации и теплоснабжения.

В настоящее время Комитет ведет подготовку к Всесоюзной конференции по газификации, которая будет созвана в первом квартале 1947 г.

Над проблемой газификации работают и другие научные общества. Так, Обществом машиностроения разработаны типы новых механизмов, применяющиеся при добыче, транспортировке и переработке горючих сланцев, по прокладке газопровода: разработаны новые и модернизированные конструкции газовой аппаратуры и т. д.

Общество строителей работало над вопросом использования газа в жилых домах. В начале 1946 г. Обществом были проведены общегородские совещания, на которых присутствовало свыше 200 человек. Вынесенные принципиальные решения легли в основу всей дальнейшей научной и практиче-

ской деятельности в области газоиспользования, касающейся вопросов организации и механизации работ по укладке городских сетей, сооружения газопровода и газгольдеров и т. д.

В ноябре 1946 г. Обществом строителей совместно с редакцией газеты «Ленинградская правда» проведено двухдневное совещание по вопросу «Строительство газопроводов Кохтла-Ярве — Ленинград в зимних условиях». Работа совещания была с большим интересом воспринята ленинградской инженерно-технической общественностью, так как прокладка этого крупнейшего в Советском Союзе газопровода (по диаметру трубы) в короткие сроки и в сложных геологических и метеорологических условиях Ленинградской области — особенно трудна. Всесторонне обсуждались многочисленные предложения, проекты и мероприятия по преодолению трудностей, связанных с зимними работами.

Совещание признало, что, несмотря на сложность сварочных, изоляционных и других строительных работ, постройка газопровода в зимнее время на заболоченных и низменных участках трассы, где передвижение весной и даже летом затруднительно, возможна, целесообразна и экономически эффективна.

Общество водного транспорта анализирует вопрос о сезонном использовании свободного газа в летнее время.

Одним из сезонных потребителей может быть речной транспорт. Обществом разрабатывается вопрос перевода питания судового двигателя с жидкого на газообразное топливо. Министерство речного транспорта выделило Обществу четыре речных катера, на которых производятся соответствующие опыты.

Молодым Обществом горной промышленности ведется подготовительная работа по проведению конференции, посвященной вопросу комплексного использования горючих сланцев Ленинградской области и Эстонской ССР.

Для увязки работы Комитета по газификации с работой научных обществ, занятых вопросами газификации Ленинграда, при Областном совете ленинградских научных обществ, создана комиссия содействия координации работ по газификации, в состав которой входят представители Совета и соответствующих обществ.

В 1946 г. ленинградскими отделениями обществ проведено 55 научно-технических конференций.

В последнее время состоялись следующие конференции: Общегородская конференция Ленинградского областного совета научных инженерно-технических обществ, совместно с НИТО городского электротранспорта, посвященная вопросу внедрения новой техники в городском электротранспорте г. Ленинграда в четвертой сталинской пятилетке. В конференции принимали участие общества железнодорожников, энергетиков, машиностроителей, литейщиков, сварщиков и резинщиков. В настоящее время «Труды конференции» подготавливаются к печати.

Первая послевоенная конференция ДОРНИТО, посвященная задачам железнодорожников — членов ДОРНИТО, в осуществлении плана восстановления Октябрьской железной дороги.

Сессия НИТО машиностроителей по итогам смотра лучших научных и практических работ.

Конференция НИТО жилищного хозяйства по вопросу «Механизации транспортных работ на фасадах». Конференция всесторонне обсудила вопрос об электрификации транспортных устройств.

Конференция ВНИТО судостроителей по постройке кораблей в потоке.

Четырехдневная всесоюзная сессия НИТО энергетиков по электрической изоляции и совещание по топливоснабжению и топливоиспользованию в энергетике.

Конференция Общества бумажников по вопросу развития и восстановления предприятий целлюлозной и бумажной промышленности Ленинградской области и Карело-Финской ССР в четвертом пятилетии.

Общегородское совещание НИТО строителей по механизации жилищно-коммунального строительства.

НИТО кожевников провело научно-техническую конференцию работников фабрично-заводских лабораторий, посвященную опыту научно-исследовательской работы.

Общество силикатчиков совместно с министерствами провело всесоюзное совещание по туннельным печам для керамической промышленности.

Обществом судостроителей проведена конференция по мореходным качествам корабля, посвященная памяти академика А. Н. Крылова.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ НАДЕЖНЫЙ МАТЕРИАЛ

СТАЛЬ САНДВИК



Подробные сведения о нашем производстве, облегчающие выбор нужного материала, Вы можете получить в нижеследующих каталогах, изданных на русском языке:

Транспортеры со стальной лентой	экз.
Стальные ленты для транспорта пищевых продуктов	
Справочник по стальным бесшовным трубам	
Сталь САНДВИК. Картина производства в снимках важнейших изделий	
Буровая сталь САНДВИК	
Нелегированное магнитное железо САНДВИК	
Сталь САНДВИК для постоянных магнитов	
Нержавеющая проволока САНДВИК	
Сталь серебрянка САНДВИК	
Холоднокатаная ленточная сталь САНДВИК	
Мембранная сталь САНДВИК	
Сталь САНДВИК для деталей текстильных машин	
Сталь САНДВИК для деталей конторских машин	
Сталь САНДВИК для компрессорных клапанов	
Сталь САНДВИК для автомобильных деталей	
Ленточная сталь САНДВИК для пил	
Ленточная сталь САНДВИК для измерительных инструментов	
Сборник докладов:	
О лесозаготовках и инструменте для них	
О нержавеющей стали и их применении	
О холодной прокатке ленточной стали	
О механической обработке, о ферромагнитных сплавах и о порошковой металлургии	
Горные буры КОРОМАНТ	
Опыт применения на горных разработках буров, армированных твердыми сплавами	
Инструкция по правке пил со скалывающим зубом	

Подготавливаются к печати

Нержавеющие трубы САНДВИК	
Нержавеющая сталь САНДВИК	
Пружинная сталь САНДВИК	
Сталь САНДВИК в зубоорубочной технике	
Сталь САНДВИК для часовой промышленности	
Руководство по транспортерам со стальной лентой	

Каталоги высылаются бесплатно

Укажите количество экземпляров нужных вам каталогов, заполните адресную карточку и пришлите аннонс нам по адресу:

ШВЕЦИЯ — САНДВИКЕН

САНДВИКЕНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД

SANDVIKENS JERNVERKS AKTIEBOLAG — SANDVIKEN

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли