



В.В. Копытов

ГАЗИФИКАЦИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ТОПЛИВ:

ретроспективный обзор,
современное состояние дел
и перспективы развития



Инфра-Инженерия

УДК 622.76
К 65

Копытов В.В.

Газификация конденсированных топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития – М.: Инфра-Инженерия, 2015. – 504 с.

ISBN 978-5-9729-0052-7

В настоящей книге представлен иллюстрированный исторический путь зарождения, становления, расцвета, временного забвения, современного уровня развития и перспектив технологий и оборудования газификации конденсированных топлив. Рассмотрены основные направления их применения (в альтернативной энергетике, в частности, при газификации специально выращиваемой фитомассы и утилизации отходов, в химической промышленности и др.).

В качестве приложений к основному тексту в книге помещены относящиеся к данной теме перечни терминов и основных понятий, научных работ и печатных публикаций (начиная с 1811 г. и до наших дней) на русском и английском языках, а также ссылки на сайты, содержащие соответствующую информацию.

© Копытов В.В., 2015
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2015

ISBN 978-5-9729-0052-7

Глава 1. Сущность и специфические особенности процесса газификации конденсированных топлив

«...без веры, что природа подчиняется законам, не может быть никакой науки...»

Норберт Винер

«...Нет ничего практичнее, чем хорошая теория...»

Людвиг Больцман

*«...Смешанные тела изменяются... от потери одной или нескольких составляющих...
необходимы силы, которые могли бы уничтожить сцепление между частицами.*

Легче всего такое действие производит огонь...»

М.В. Ломоносов

Сначала небольшое историческое отступление от темы.

Человек, перейдя к оседлому образу жизни, в качестве первой внешней энергетической установки для обработки земли в сельскохозяйственных целях стал использовать быка. А лошадь, гораздо более перспективный «энергонасоситель», превосходящий по скоростным характеристикам быка в несколько раз, смог освоить только через пару тысячелетий. Причина здесь, видимо, проста: чтобы запрячь быка достаточно одной верёвки (шея у быка мощная, а скорость передвижения небольшая), а вот с лошадью так не получалось – шея у неё гораздо уязвимее, особенно при сравнительно высокой скорости перемещения. На поиск технологического решения под названием «хомут» и ушли эти тысячи лет. Зато после этого удалось использовать («распаковать») энергию лошади и в разы повысить производительность логической системы «земледелие».

Нечто подобное происходит и с энергетикой в целом. Применимость различных энергоносителей в реальной жизни обуславливается достигнутым технологическим уровнем. По утверждению химиков, в одном литре воды содержится в 300 раз больше энергии, чем в литре бензина. Но эта энергия так «упакована», что современными методами для её «распаковки» нужно затратить в три раза больше энергии, чем будет получено после этой операции. Поэтому этот источник энергии пока находится в ожидании соответствующих технологических решений – своего «хомута».

Но это не значит, что сегодня не существует никаких вариантов повышения энергоэффективности и экологической безопасности сложившейся на сегодня энергетической модели мира. Многие серьёзные учёные и специалисты считают, что одним из таких вариантов «распаковки» энергии, заключённой в конденсированных топливах, может служить их предварительная **газификация/пиролиз** с получением ценных газообразных, жидких и твёрдых энергоносителей/химических веществ и одновременным снижением техногенной нагрузки на экосистему Земли. Помимо упомянутых во вступлении, к таким учёным, в частности, относятся:

- вице-президент и академик РАН, д.х.н. *С.М. Алдошин*;
- академик РАН, д.т.н. *А.Е. Шейндлин*;
- академик РАН, д.х.н. *К.Н. Трубецкой*;
- член-корреспондент РАН, академик РАЕН и МАНЭБ, д.х.н. *А.Л. Ланидус*;
- член-корреспондент РАН, д.т.н. *Н.И. Воронай*;
- член-корреспондент РАН, д.т.н. *А.Д. Рубан*;
- вице-президент и академик РАЕН, д.т.н. *В.Ж. Аренс*;
- академик РАЕН и РИА, д.т.н. *А.Г. Нецветаев*;
- академик РАЕН, д.т.н. *Е.В. Крейнин*;
- академик РАЕН, д.т.н. *В.М. Чебаненко*;
- академик РИА, д.х.н. *В.В. Мясоедова*;
- академик РЭА, д.т.н. *Г.А. Солодов*;

- член-корреспондент РИА, д.т.н. *А.Ф. Рыжков*;
- академик НАН Украины и МИА, д.т.н. *В.И. Большаков*;
- академик НАН Украины, д.ф.-м.н. *Ю.П. Корчевой*;
- академик НАН Украины, д.т.н. *А.Ю. Майстренко* скоропостижно скончался в Киеве 17 декабря 2011 г., но оставил после себя научную школу газификации угля);
- академик Академии горных наук Украины, д.т.н. *И.Г. Товаровский*;
- д.т.н. *А.С. Малолетнев*, д.т.н. *М.Я. Шпирт*, д.т.н. *Ф.Г. Жагфаров*, д.т.н. *В.В. Сергеев*, д.т.н. *С.Г. Степанов*, д.т.н. *С.П. Сергеев*, д.т.н. *С.Р. Исламов*, д.т.н. *М.Л. Щипко*, д.т.н. *Г.Ф. Кузнецов*, д.т.н. *Ю.А. Стрижакова*, д.т.н. *Н.И. Абрамкин*, д.э.н. *В.П. Пономарёв*, д.т.н. *А.А. Беляев*, д.т.н. *Л.Я. Шубов*, д.т.н. *А.М. Клер*, д.т.н. *Э.А. Тюрина*, д.т.н. *В.Н. Пиялкин*, д.х.н. *Д.А. Пономарёв*, д.т.н. *Н.Н. Ефимов*, д.т.н. *А.В. Белов*, д.т.н. *И.А. Коробецкий*, д.т.н. *Б.И. Кондырев*, д.т.н. *С.А. Гончаров*, д.ф.-м.н. *А.В. Фёдоров*, д.т.н. *В.Е. Мессерле*, д.т.н. *С.Н. Лазаренко*, д.т.н. *А.П. Тапсиев*, д.т.н. *С.А. Кондратьев*, д.т.н. *А.Н. Анушенков*, д.т.н. *С.И. Сучков*, д.ф.-м.н. *В.М. Гремячкин*, д.т.н. *С.А. Прокопенко*, д.т.н. *В.И. Ковбасюк*;
- к.т.н. *Р.Ш. Загруддинов*, к.т.н. *А.А. Гроо*, к.т.н. *А.Н. Нагорнов*, к.т.н. *В.В. Тиматков*, к.ф.-м.н. *Е.А. Салганский*, к.т.н. *В.Н. Ковалёв*, к.т.н. *В.А. Брянцев*, к.т.н. *Ю.Д. Юдкевич*, к.т.н. *А.Н. Булкатов*, к.ф.-м.н. *Д.Г. Григорул*, к.т.н. *И.В. Гребенюк*, к.т.н. *А.Ю. Зоря*, к.т.н. *А.С. Медников*, к.т.н. *В.В. Степанов*, к.т.н. *К.И. Наумов*, к.т.н. *А.П. Кузмин*, к.т.н. *С.К. Тризно*, к.т.н. *В.И. Ростовцев*, к.т.н. *Е.В. Дворникова*, к.т.н. *И.О. Михалёв* и др.

Газификацией конденсированных топлив (ГКТ) называется термохимический процесс преобразования (*конверсии*) органической части (главным образом, содержащегося в ней углерода) конденсированных топлив (КТ) в горючий генераторный газ (ГГ), удобный для последующего сжигания, как в горелках котлов различного назначения, так и в камерах сгорания (внешних и внутренних) двигателей различных типов.

Газификация является чрезвычайно сложным гетерогенным физико-химическим процессом, которому присуща сложная кинетика. Этот процесс развивается в полидисперсной и гетерогенной среде в условиях фильтрационного и диффузионного переноса газов. Для процесса характерно наличие одновременного переноса энергии, импульса и массы в весьма сложной и неоднородной геометрической системе, а также присутствие фазовых превращений с тепловой деформацией слоя, явлениями спекания и изменения структуры и свойств минеральной части топлива и зольного остатка. При этом имеют место быть гомогенные и гетерогенные химические превращения, непрерывно протекают многочисленные последовательные и параллельные, прямые и обратные химические реакции.

Общеизвестны достоинства газообразного топлива: оно хорошо приспособлено к транспортированию на большие расстояния, при горении не оставляет золы, не выделяет копоти и больших объёмов дымовых газов, процесс сжигания газа легко автоматизировать, температура пламени, как правило, значительно выше аналогичного показателя, получаемого при непосредственном сжигании конденсированных топлив. Кроме того, искусственные горючие газы являются ценным сырьём для химической промышленности (синтез аммиака, производство искусственных жидких топлив, масел, смазок и др.).

Главным преимуществом технологий ГКТ с экологической точки зрения является сравнительно **низкий уровень негативного воздействия на окружающую среду**.

Это, в первую очередь, обусловлено достаточно продолжительным (особенно для газификации в плотном слое) нахождением газообразных продуктов ГКТ сначала в зоне окисления (горения) при температурах от 1000-1200 °С и выше, а затем в восстановительной (бескислородной) зоне формирования ГГ. Это **препятствует образованию различных оксидов** (в т.ч. азота и серы), а наиболее опасные вещества (**диоксины, фураны, полихлорбифенилы, бенз(а)пирены** и другие **полициклические ароматические углеводороды**) подвергаются **термическому разложению и восстановительному дехлорированию**.

Ещё одним преимуществом газификации по сравнению с прямым сжиганием КТ является образование гораздо меньших объёмов газов, подлежащих очистке. Кроме того, в результате более полного (по сравнению с прямым сжиганием КТ) сгорания газообразного топлива образуется значительно меньшее (в разы, а, по некоторым позициям, и на порядки) ко-

личество вредных для окружающей среды химических соединений (как в дымовых газах, так и в зольном остатке).

Всё это позволяет существенно сэкономить на дорогостоящем оборудовании газоочистки дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу (стоимость такого оборудования, например, в составе мусоросжигающих заводов составляет более 50%), и оборудовании обеззараживания конденсированных вторичных отходов.

Наличие значительного объёма балластных инертных компонентов (прежде всего, азота N_2 и диоксида углерода CO_2) в ГГ также имеет свою положительную сторону – генераторный газ по сравнению с природным гораздо менее взрывоопасен.

Наконец, при газификации недожог топлива сравнении с прямым сжиганием существенно ниже, т.к. происходит почти 100-процентная конверсия углерода при переходе его из конденсированного в газообразное состояние, а в ГГ и зольном остатке практически отсутствует сажа (непрореагировавший углерод).

В качестве сырья для газификации могут выступать практически все углеродсодержащие материалы природного и техногенного происхождения, в частности:

- горючие ископаемые (*каустобиолиты*);
- биомасса, в т.ч. специально выращиваемая фитомасса (например, в фотобиореакторах и/или «энергетических лесах»);
- углеродсодержащие отходы производства и потребления, включая бытовые и коммунальные отходы, в т.ч. иловые осадки канализационных и сточных вод.

При этом специально выращенная фитомасса и отходы различного происхождения относятся к возобновляемым источникам энергии.

Газифицируемое топливо может обладать широкими диапазонами энергетической плотности (так, содержание углерода может быть до 25% и ниже), гранулометрического состава (от долей до сотен миллиметров), влажности и зольности (до 50% и выше), может быть использовано по отдельности и в самых разнообразных смесях, в жидком, твёрдом и промежуточном между ними (конденсированном) виде.

При этом можно получить ГГ с заданным химическим составом/теплотой сгорания, т.к. это определяется выбранной схемой газификации, температурой, давлением, составом изменяемых газифицирующих агентов, наличием и свойствами катализаторов.

Большая энциклопедия под редакцией *С.Н. Южакова*, выпущенная в 1900-1909 гг. книгоиздательским товариществом «Просвещение» (г. Санкт-Петербург) совместно с Библиографическим институтом (города Лейпциг и Вена), определяла «...смысл [газо]генераторной топки...» как «...достижение высоких тепловых эффектов с помощью газа, получаемого из посредственного по качеству [конденсированного] горючего...».

В основе технологического процесса газификации лежит способность органической части КТ переходить при определённых условиях из конденсированного в газообразное состояние с образованием монооксида углерода (*угарного газа*) и водорода. **Назначение оборудования ГКТ – создать такие условия.**

Одним из таких необходимых условий является обеспечение процесса термохимической деструкции КТ, называемого пиролизом. Пиролиз внутри реакторов газогенераторов происходит в результате нагрева топлива при отсутствии кислорода.

Нагрев КТ обычно обеспечивается за счёт окисления части газифицируемого топлива (≈ 10 -30% в зависимости от характеристик КТ и оборудования газификации) без подвода теплоты извне, т.е. в автотермическом режиме (хотя существуют и аллотермические газогенераторы с подводом тепла извне).

Вообще, любые конденсированные топлива или их смеси, в т.ч. произведённые из отходов, для автономного сжигания и автотермической газификации должны обладать определённым процентным соотношением горючей массы, влажности и зольности.

Шведский учёный *Таннер* установил, что органические вещества могут самостоятельно обеспечивать стабильность процесса горения при содержании в них горючих веществ (С) не менее 23%, а влаги (W) и золы (А) – не более 50% и 60% соответственно, т.е. находиться в «желтой зоне» треугольника Таннера (см. Рис. 1.1).

Отсутствие кислорода в зонах формирования ГГ и пиролиза (восстановительной зоне и зоне коксования) достигается тем, что подаваемые в реактор газифицирующие агенты, сбалансированы таким образом, что весь содержащийся в них кислород используется в зоне окисления (зоне горения).

В процессах пиролиза КТ, происходящего при температуре $\approx 400-900$ °С, и взаимодействия продуктов пиролиза с кислородом газифицирующих агентов при температуре $\approx 900-1350$ °С по экзотермическим химическим реакциям $C + O_2 \leftrightarrow CO_2 + 409$ кДж/моль и $2C + O_2 \leftrightarrow 2CO + 246$ кДж/моль выделяется теплота. Эта теплота используется в процессах:

- сушки/нагрева КТ при температуре $\approx 150-400$ °С;
- взаимодействия продуктов пиролиза с диоксидом углерода и водяным паром при температуре $\approx 750-1000$ °С по эндотермическим химическим реакциям ($C + CO_2 \leftrightarrow 2CO - 162$ кДж/моль и $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2 - 137$ кДж/моль);
- подогрева газифицирующих агентов при температуре теплоносителей (продуктов газификации) $\approx 200-900$ °С.

В результате вышеприведённых химических реакций происходит образование монооксида углерода CO и водорода H_2 – основных горючих компонентов ГГ (другими химическими реакциями, имеющими место при газификации КТ, в виду их незначительного влияния на состав и калорийность ГГ, в большинстве случаев «нехимического» применения технологий газификации можно пренебречь).

Условия, необходимые для протекания химических реакций газификации и сопутствующих им процессов в соответствующих зонах реактора, обеспечиваются правильной организацией теплообмена.

В большинстве случаев эффективность процессов газификации может существенно повышаться при использовании соответствующих катализаторов, позволяющих снижать температуру при сохранении высокой скорости процесса и регулировать состав продуктов.

Таким образом, при правильно сбалансированных потоках топлива, инертного материала (при наличии) и газифицирующих агентов, подаваемых в реактор термохимической конверсии углерода, а также при правильной организации теплообмена внутри реактора исходное КТ с достаточно высокой эффективностью (химический/термический КПД газификации 0,65-0,95) преобразуется в конечные продукты термохимической деструкции сложных органических веществ – горючий ГГ и твёрдый зольный остаток.

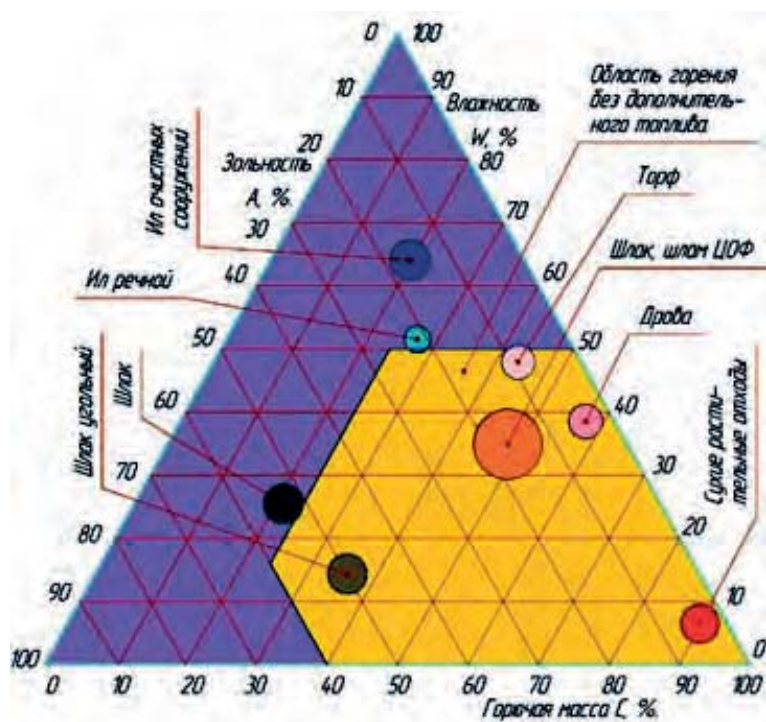


Рис. 1.1 Треугольник Таннера

Глава 2. Зарождение технологий газификации

«...Истинное есть целое.

Но целое есть только та сущность, которая завершается через своё развитие...»

Г.В.Ф. Гегель

«...История человечества, в основном, - история идей...»

Герберт Уэллс

Археологические раскопки свидетельствуют о том, что ещё пещерные люди (неандертальцы) знали древесный уголь – твёрдый продукт неполной газификации древесины. Более 100 тысяч лет назад вымершие предки современного человека собирали на пожарищах или делали специально, засыпая золой тлеющие головни, и, укрываясь в пещерах от непогоды, использовали затем как высококалорийное и практически бездымное топливо, не вызывающее угара. Таким образом, технология газификации древесины является, по сути, первой в истории человечества химической технологией, а древесный уголь – соответственно первым продуктом, получаемым с помощью этой технологии. Существует мнение, что овладение технологией получения древесного угля было первым импульсом, создавшим, наряду с последующими открытиями, нашу технократическую цивилизацию.

При этом древесный уголь служил не только в качестве топлива, но и был средством культурного развития древнего человека. С помощью древесного угля примерно 40 тысяч лет тому назад были сделаны и одни из первых (а, может быть, и первые) в истории нашей цивилизации наскальные рисунки (см. Рис. 2.1).



Рис. 2.1 Рисунок мамонта, сделанный при помощи древесного угля

Примерно тогда же неандертальцы научились при помощи сухой перегонки (пиролиза) превращать берёзовую кору в дёготь, ставший первым клеящим веществом в истории человечества. Берёзовый дёготь служил древним предкам человека для соединения каменных и деревянных частей орудий труда и охоты.

2500-3000 лет до нашей эры в Месопотамии и Египте жидкое природное топливо – нефть, будущий объект газификации, уже использовали как связующее и водонепроницаемое вещество при сооружении дамб, причалов, дорог, зданий из кирпича и камня. Нефтяным битумом покрывали стены зернохранилищ и водохранилищ. Нефть добавлялась в состав для бальзамирования в Древнем Египте.

Нефть также заливали в светильники и применяли в качестве лекарства при кож-

ных болезнях у людей и домашних животных (в частности, для лечения чесотки у верблюдов).

Древние ремесленники-углежогги также использовали похожие на газификацию технологии, сжигая и коксуя твёрдые топлива при недостатке кислорода. Примечателен в этом отношении факт из весьма древней истории. Археологи установили, что немногим более 3000 лет назад в Древнем Египте внезапно прекратилась выплавка меди. Связано это было с тем, что к этому времени в окрестностях месторождения меди были полностью вырублены все пальмовые леса, в результате чего исчез получаемый из пальм древесный уголь. Из-за нехватки топлива плавильные печи гасли одна за другой, и, в конце концов, производство необходимого населению металла совсем заглохло, хотя самой меди оставалось ещё достаточно (аналогичная ситуация сложилась в XV-XVII веках в Европе; см. ниже). Дерево играло в

те времена столь решающую роль в жизни общества, что в истории остались упоминания о «блуждающих» городах. Например, столица Эфиопии – Аддис-Абеба – несколько раз «переезжала» с места на место по мере того, как жители вырубали окрестные леса.

Древнегерманские племена, обитавшие на заболоченных территориях бассейна Эльбы около 1000 лет до н.э., положили начало истории использования природного (болотного) газа, придумав примитивный газопровод. Они сооружали специальные кожаные трубы и таким нехитрым способом проводили газ к своим жилищам для обогрева, а также готовили на газе еду.

Несколькими веками позднее (в VI-IV веках до н.э.) природное газообразное топливо научились использовать в целях отопления и освещения древние китайцы. К месту сжигания газ доставлялся по бамбуковым трубам. Древние жители Кавказа и Карпат также пользовались природным газом для приготовления пищи и обогрева жилищ.

В V веке до н.э. древнегреческий историк, «отец истории» *Геродот* писал о «вечных огнях» на горе Химера, расположенной в Малой Азии. Источники природных горючих газов были известны также в Азербайджане, Иране, Ираке и Индии. Обилие горящих факелов привело к возникновению в этих местах религии т.н. «огнепоклонников» – приверженцев учения зороастризма (маздеизма) и последователей пророка *Заратустры* (*Зороастра*).

Академик *Ю.И. Боксерман* в работе «Газовая промышленность России» датирует начало использования природного газа в Евразии в ритуальных целях приблизительно I веком н.э., когда на Апшеронском полуострове, на месте естественного выхода газа на поверхность был построен храм огнепоклонников. Старинный храм огнепоклонников в Сураханах (Апшеронский полуостров, Азербайджан) сохранился наших дней в качестве музея (а до 1870-х годов там проходили и «богослужения»). Имеются свидетельства, что в Китае и Месопотамии также существовали подобные храмы, горючий газ к которым подавался по тростниковым трубам и зажигался только при исполнении религиозных обрядов. Выходы горючих газов из земли имели место и на территории Европы – в местечке Питера Мала (Италия), в Ланкашире (Англия) и др.

Уже в нашу эру (I тысячелетие н.э.) были зафиксированы первые примеры «народно-хозяйственного» использования газообразного топлива: когда в китайской провинции Сычуань при бурении скважин для добычи соли было открыто газовое месторождение Цзылюцзынь, местные жители научились использовать этот газ для выпаривания соли из рассола. Примерно тогда же главными проводниками технологий ГКТ в жизнь стали угольщики-углежогы (англ. «charcoal-burner» или «collier», нем. «köhler»), одни из любимых персонажей народных сказок, сложенных в Европе как минимум тысячу лет назад.

Правда углежогам (см. Рис. 2.2) и смолокурам нужны были твёрдые (древесный уголь и, позднее, каменноугольный кокс) и/или смолообразные (дёготь, каменноугольная смола, пёк и т.п.) продукты термического разложения топлива. Горючий газ, неизбежно выделяющийся при этом, являлся лишь побочным продуктом и долгое время никак не использовался. Целью же огнепоклонников было увеличение продолжительности процесса горения (дабы не торопясь совершить все необходимые религиозные ритуалы).

А вот коренные жители Америки оказались более практичными. Они придумали вынимать сердцевину в древесных чурках и ограничивать доступ воздуха с одного из торцов. В результате происходила газификация древесины, а выделяющийся при этом ГГ свободно горел с другого торца и использовался американскими индейцами для освещения и обогрева жилищ, а также для приготовления пищи. Считается, что в Европу, а затем и в другие части света, этот древний газогенератор, получивший название «индейская свеча», был привезён из Америки *Христофором Колумбом*. В настоящее время «ин-



Рис. 2.2 Углежогы за работой.
Средневековая гравюра

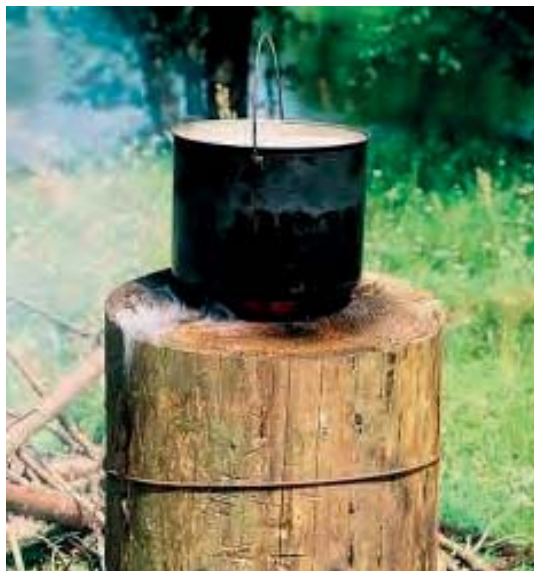


Рис. 2.3 «Индийская свеча» хорошо известна и современным туристам
ла *Мария Пророчица* (известная также, как *Мария-еврейка*, *Мария коптская* и *Мария Хебрея*, см. Рис. 2.4).

Эта женщина, жившая в I (по другим данным во II и даже в III) веке н.э., была основательницей александрийской алхимической школы. Она изобрела ряд химических аппаратов, используемых и в наше время, а также описала ряд фундаментальных (как для алхимии, так и, в дальнейшем, для химии) процессов, в т.ч. и процесс сублимации (переход вещества из твёрдого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое). *Мария* также предложила инструменты, многие из которых и сегодня можно найти в любой химической лаборатории, ей же принадлежит честь синтеза ряда веществ, например, соляной кислоты.

Кроме того, она написала книгу «*О печах и аппаратах*», став первой в истории женщиной, которая сочиняла книги и подписывала их своим именем.

В состав легендарного секретного оружия Византийской империи – «греческого огня» – изобретённого в 673 (по другим данным – в 330) году от Рождества Христова сирийским учёным-химиком и инженером-механиком *Каллиником*, входили, по мнению ряда исследователей, продукты газификации (перегонки) конденсированных топлив (нефти, различных горючих смол и масел, угля, серы и т.п.).

Жившие в те времена византийцы чаще называли «греческий огонь» «морским огнём», т.к. наиболее эффективен он был в борьбе с судами их противников (см. Рис. 2.5).

Так в 717 г. этим огнём был сожжён огромный мусульманский флот, состоящий из 1800 кораблей.

дейская свеча», известная также как «деревянный примус», до сих пор используется для приготовления пищи в походных условиях (см. Рис. 2.3).

Так сложилось, что первые, признанные официальной историей, опыты по газификации КТ осуществили представительницы прекрасной половины человечества. Парфюмер и химик *Танпуту*, жившая около 1200 лет до н.э., занималась, в частности, перегонкой растительных масел. Этот факт дистилляции (а по сути – газификации с последующим охлаждением и конденсацией паров) жидких веществ зафиксирован на клинописных дощечках, найденных в Месопотамии.

Следующие из попавших в исторические хроники свидетельства газификации твёрдых веществ отсылают нас почти на полтора тысячелетия позже.

Опыты по газификации (в то время использовались термины «сублимация» и «возгонка») прове-



Рис. 2.4 Мария-еврейка и её «белая трава на горе» - основа алхимических рецептов получения золота

В летописи *Нестора*, «греческий огонь» упоминается при описании похода 907 года киевского князя *Олега* на Царьград (Константинополь), когда флот наших предков был практически полностью уничтожен под стенами столицы Византийской империи.

В 941 г. при помощи этого оружия была одержана победа над флотом другого русского князя *Игоря*, который также подошёл непосредственно к крепостным стенам Константинополя.

В статье «Греческий огонь без селитры», опубликованной в журнале «Химия и жизнь» № 2 за 2010 г., *М.Ю. Тарасов* довольно убедительно изложил свою версию состава этой горючей смеси и способа её метания. Он предположил, что главным компонентом «греческого



Рис. 2.5 «Греческий огонь» в действии.
Средневековая миниатюра

При этом выбрасываемую из сифона горючую смесь не обязательно специально поджигать - с этим могли справиться раскалённые газы, прорывающиеся вместе с нефтью из жерла сифона. Не исключено, что при воспламенении распыленной нефти мог происходить и объёмный взрыв, повергавший противника в ужас. По некоторым данным, помимо византийцев «греческий огонь» позднее стали применять арабы в битвах с крестоносцами, русичи в войне с Волжско-Камской Булгарией и турками-османами при осаде и взятии в 1453 г. всё того же Константинополя.



Рис. 2.7 Перегонный куб «алембик» Аль-Кинди – газогенератор жидкостей



Рис. 2.6 Возможное устройство сифона для метания «греческого огня»

В IX веке газификацией жидких веществ с целью получения парфюмерных продуктов и лекарств занимался арабский философ, математик и химик *Аль-Кинди* (в Европе был известен под именем *Alkindus*). Он также обосновал технологию получения чистого спирта перегонкой вина и создал перегонный куб «алембик» (см. Рис. 2.7), который в виде самогонного аппарата хорошо знаком жителям многих стран, включая россиян.

К XII веку относятся первые письменные свидетельства продажи-покупки дёгтя (жидкого продукта пиролиза древесины, прежде всего, берёзы). Хотя есть мнение, что древние греки и скандинавы получали и использовали (главным образом, для просмаливания судов и как лечебное средство) дёготь ещё в III тысячелетии до нашей эры.

В 1273 г. в Англии, во времена правления короля *Эдуарда IV*, был принят первый законодательный акт в истории охраны воздушной среды. Этот закон запрещал использование каменного угля в Лондоне для отопления.

Нарушителю королевской воли полагалась смертная казнь. Спустя шесть веков, во второй половине XIX столетия, проблема загрязнения воздушного бассейна проявится в том же Лондоне и других крупных городах Европы и США с гораздо большей силой. Надо признать, что и производство искусственных горючих газов сыграло в этом деле не последнюю роль. Но можно взглянуть на ситуацию по-другому и сказать «спасибо» светильному газу за то, что он «высветил» насущную проблему газоочистки (см. Гл. 3).

К оборудованию газификации твёрдых, в данном случае взрывчатых веществ, можно отнести и все виды огнестрельного оружия, первые образцы которого появились в Европе в XIV веке (древние египтяне, индусы и китайцы, возможно, изготавливали и использовали его ещё во II тысячелетии до нашей эры). Правда, в этом случае, как и, скорее всего, с *Тап-пути* и *Марией Проречиссой*, либо исходное сырьё, либо получаемые газы, либо то и другое (например, при газификации воды с получением водяного пара) не являются горючими. И потому в данной книге эти случаи газификации предметно не рассматриваются.

Определённых успехов в постижении тайны получения «голубого огня» и его «приручении» добились средневековые алхимики, которые в ходе своих поисков философского камня не раз совершали весьма важные для науки открытия.

В XV-XVII веках в Европе наблюдался резкий рост населения, повлекший за собой быстрое истощение традиционного энергоносителя – древесины. Предприятия горной промышленности оказались на грани остановки из-за отсутствия топлива для железоплавильных печей (древнеегипетская история грозила повториться; см. выше). Сложившийся топливный кризис стал мощным толчком для поиска новых видов топлив. В результате вместо древесины широко стали применяться горючие ископаемые (каустобиолиты), прежде всего, каменный уголь.

К XVI столетию относится начало применения технологии неполной газификации (пиролиза) в промышленных масштабах. В это время шведские корабли освоили пропитку древесины дубильными смолами, получаемыми в результате пиролиза древесины, главным образом сосны. Происходило это следующим образом. В медный чан закладывались поленья хвойных пород древесины, чан герметично закрывался, чем достигалось отсутствие доступа воздуха внутрь. Чан на открытом пламени разогревали до температуры 400-500 °C, на дне скапливались маслянистые смолы, которые периодически сливались через специальное отверстие.

Примерно в это же время, в связи с развитием металлургии получил новое развитие и другой промысел, основанный на технологии пиролиза древесины, – углежжение. При нагревании древесины без доступа воздуха получался древесный уголь. Его использовали в качестве топлива и восстановителя при выплавке чугуна и стали.

В 1589 г. англичане *Проктер* и *Петерсон* первыми получили кокс из каменного угля.

В 1596 г. впервые были переработаны горючие сланцы (из них стали получать ихтиол). Произошло это в местечке Зеефильд, расположенном на территории современной Австрии.

В XVII веке работниками английских угольных копей было отмечено, что поднимающийся из трещин угольных пластов газ горюч и даёт при горении светящееся пламя.

В 1649 г. немецкий химик *Иоганн Глаубер* получил в результате перегонки каменноугольной смолы (жидкого продукта пиролиза угля) жидкое вещество, получившее позднее, в XIX веке, имя «бензол» и химическую формулу C_6H_6 (см. Гл. 3).

В 1667 г. английский учёный *Томас Ширлей* в своей работе «*Philosophical Transactions*» попытался объяснить способность газа светить при горении, а продолживший его исследования профессор химии *Иоганн Бехер* из Мюнхена в 1680 г. получил светящийся газ посредством перегонки торфа и каменного угля и назвал его «философским светом».

Технологиями получения искусственных горючих газов (к которым относится и ГГ) как главных целевых продуктов человечество окончательно овладело в конце XVII - начале

XVIII века, когда в Англии в результате нагрева угля без доступа кислорода получили газ, способный гореть на воздухе (хотя существует предание, что ещё в XIII веке некий парижанин по имени *Езекииль* получал подобным образом горючий газ и использовал его для освещения и обогрева собственного жилища, а также историческое свидетельство о получении в 1609 г. горючего газа из древесного угля *Джоном Ван Хельмонтом* из Брюсселя).

В 1690-е годы химик *Джон Клейтон* открыл и впервые научно описал процесс получения горючего газа путём сухой перегонки древесины. Однако *Клейтон* не смог найти этому газу практическое применение и использовал его лишь для забавы своих гостей.

В 1694 г. в Англии был выдан первый патент на термическую переработку горючих сланцев.

В 1709 г. *Абрахам Дерби* (Англия) впервые выплавил железо с помощью каменноугольного кокса, вместо применявшегося с незапамятных времен древесного угля.

В начале XVIII века студенты университета бельгийского города Леувене, посещавшие лекции профессора *Йоханна Петруса Минкелерса* (1748-1824 гг.; см. Рис. 2.8), писали по вечерам свои конспекты при свете созданного их преподавателям фонаря, работающего на искусственном газе.

Работавшие в первой половине XVIII века учёные *Галль*, *Уотсон*, *Клайтон* проводили опыты по получению каменноугольного газа, причем *Клайтон* в 1739 г. даже разработал способ транспортировки небольших его порций на малые расстояния.

В 1740-х годах жители немецкого города Вюрцбурга вечерами собирались под окнами профессора *Пиккеля*, чтобы полюбоваться на необычный свет, струившийся из окон его кабинета. Свет этот давало при сгорании горючий газ искусственного происхождения.

В середине XVIII века Британия вступила в период промышленной революции, эпоху перехода к индустриальному обществу. Уголь обеспечил производство энергоресурсами, а демографический взрыв – рабочей силой.

Увеличение числа фабрик и заводов, систематическая работа в вечерние и ночные смены, быстрый рост торговли и городов вызвали потребность и в новых источниках освещения. Свет от традиционных масляных ламп и свечей в цехах оказался недостаточным.

В 1766 г. *Генри Кавендиш*, британский физик и химик, член Лондонского королевского общества открывает водород, который образует с воздухом (кислородом) взрывоопасные смеси. Позднее он изобрёл «эвдиометр» – прибор для анализа газовых смесей, содержащих горючие компоненты.

В 1773 году британский аристократ *Арчибальд Кокрейн* пытался наладить переработку каменного угля в смолу, пригодную для ремонта поврежденных судов. Во время опытов он поджигал образовавшиеся при этом газы. Дело происходило в одной из башен аббатства Карлос, расположенного на берегу залива Ферт-оф-форт, и полученный свет оказался настолько ярким, что его было видно за несколько километров (несколькими десятилетиями спустя этот эффект будет использован в маяках; см. Гл. 3 и Гл. 9). Таким образом, *Кокрейн* может считаться одним из многочисленных претендентов на лавры изобретателя газового освещения.

В 1773-1774 гг. французский химик *Антуан Лавуазье* (см. Рис. 2.9), основоположник современной химии, провёл удачные опыты по термическому разложению водяного пара с целью получения кислорода и водорода. *Лавуазье*, кстати, и ввёл в обращение эти термины. До этого воздух в течение многих тысячелетий считался единым и неделимым элементом. И только в 1760-1770 годы самые «продвинутые» химики, в т.ч. и сам *Лавуазье*, кислород ста-



Рис. 2.8 Й.П. Минкелерс увековечен в родном голландском городе Маастрихт с газовым светильником в руках

ли называть «горючим («огненным», «жизненным», «дефлогистированным») воздухом», а азот и углекислый газ – «негорючим («безжизненным») воздухом».



Рис. 2.9 Антуан Лавуазье
(1743-1794 гг.)

В течение этих же двух лет (1773 - 1774 гг.) шведский химик *Карл-Вильгельм Шееле* и британский естествоиспытатель *Джозеф Пристли* независимо друг от друга и от *Лавуазье* получают кислород. Занимался *Пристли*, так же как и *Лавуазье* и многие другие известные учёные того времени, в частности, *Ван-Гельмонт* и *Гей-Люсак*, и проблемой получения из конденсированных топлив горючих газов.

В 1776 г. французский врач *Ж. де Лассон* в ходе опытов по нагреванию древесного угля с монооксидом (окисью) цинка получил монооксид углерода (угарный газ) CO – один из основных компонентов большинства искусственных горючих газов.

1777 год многие исследователи техники считают годом, когда был сделан первый шаг к созданию двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Тогда были проведены опыты по подрыву с помощью электрической искры смеси воздуха с горючим каменноугольным газом в капсуле. Провёл эти опыты *Алессандро Вольта* – итальянский естествоиспытатель, физик, химик и физиолог, наиболее прославившийся, как один из основоположников учения об электричестве.

Кроме электричества его интересовали и горючие газы (как природные, в частности, ему принадлежит открытие в 1776 г. и изучение свойств «болотного газа» – метана, так и искусственные). *Вольта* также конструировал газовые горелки и пистолеты, изобрёл водородную лампу и эвдиометр (прибор для определения количества кислорода в воздухе).

В 1781 г. *А. Лавуазье* создал первый лабораторный газгольдер для хранения газов.

В 1782 г. итальянский профессор *Феличе Фонтана* впервые исследовал процесс разложения водяного пара над раскалённым углём и обнаружил образование горючего газа (смеси водорода и монооксида углерода), названного позднее «водяным газом».

В 1783 г. голландский физик *Гюнгенс* соорудил машину, в которой поршень поднимался вверх под воздействием продуктов газификации порохового заряда.

В 1788 г. *Роберту Гарднеру* был выдан первый патент на способ газификации угля.

Глава 3. Становление и применение технологий газификации в Европе конца XVIII-середины XIX века

*«...Один сумасшедший предлагает осветить Лондон, и чем бы вы думали?
Представьте себе – дымом!...»*

Вальтер Скотт

«...Сделать изобретение легко; гораздо труднее найти ему практическое применение...»

Томас Эдисон

К концу XVIII века были нащупаны возможности производства искусственного газа с последующим применением его в хозяйственных и промышленных целях. Тогда же, горю-

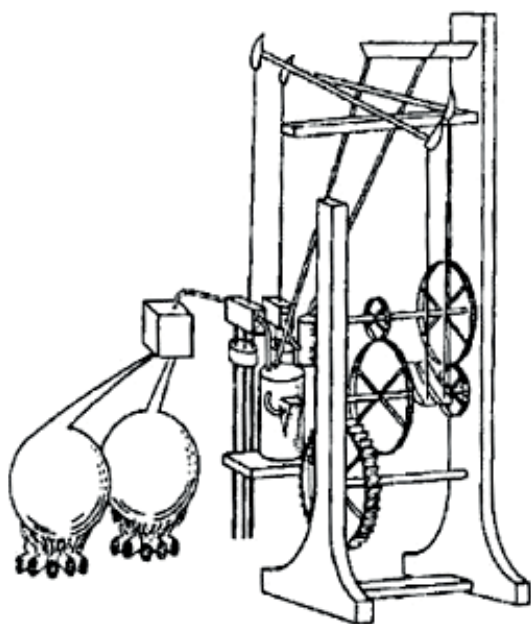


Рис. 3.1 Схема газотурбинного двигателя Джона Барбера, 1791 г.

чий газ, получаемый из каменного угля и других топлив (главным образом, древесины, жира морских животных и, в последующем, нефти и нефтепродуктов), научились использовать. Так, первая в мире газовая турбина, точнее – газотурбинный двигатель (см. Рис. 3.1), запатентованный в 1791 г. англичанином *Джоном Барбером*, работал именно на таком газе – пиролизном газе, получаемом при сухой перегонке каменного угля.

Горючий газ и воздух поршневыми компрессорами подавались в камеру сгорания. Продукты сгорания поступали в осевую активную газовую турбину, которая через механическую передачу из цепей и балансиров приводила упомянутые компрессоры. Была даже предусмотрена система водяного охлаждения турбины. Таким образом, двигатель *Барбера*, содержал все основные элементы газотурбинного двигателя. Двигатель был разработан для приведения в действие безлошадной повозки.

Для успешного преодоления дистанции, отделяющей теоретические исследования от практики, требовалось создать определенные условия. Внедрение изобретений во все времена может быть осуществлено только при наличии:

- интеллектуальных ресурсов, способных не только генерировать, но и развивать и адаптировать перспективные идеи к имеющемуся в наличии уровню научного и промышленного развития;
- государственных деятелей/бизнесменов/некоммерческих структур, способных и готовых проинвестировать связанные с этим работы;
- потенциальных клиентов, нуждающихся в созданных на основе изобретений товарах и/или услугах, и способных их приобрести.

Таким образом, зарождение промышленности искусственных горючих газов (как и любой другой новой отрасли) могло произойти только в странах с мощной и достаточно развитой экономикой (с крупными фабрично-заводскими предприятиями) и относительно высоким уровнем образования.

По состоянию на конец XVIII века условиям, перечисленным выше, в наибольшей степени отвечали два европейских государства – Великобритания и Франция. Дополнительным фактором служило то обстоятельство, что эти две страны уже долгое время находились между собой в жестком политическом и экономическом противостоянии. В частности, они не могли допустить усиления противника хоть на каком-то направлении развития науки и техники. И не случайно, именно английские и французские учёные, зачастую едва ли ни дыша друг другу в затылок, бились над одними и теми же задачами.

Именно так и случилось с технологией и оборудованием газификации конденсированных топлив: даже по прошествии более, чем двух столетий историки не пришли к единому и однозначному мнению кому же здесь принадлежат лавры первооткрывателя – англичанину (шотландцу) или французу.

Часть историков считает, что создателем первого газогенератора является французский инженер, профессор механики Парижской школы мостов и дорог *Филипп Лебон* (см. Рис. 3.2).

Однажды, в 1788 г. (по другим данным двумя годами ранее) он бросил горсть сухих древесных опилок в стоявший на огне сосуд. Через некоторое время из сосуда поднялся густой дым, который вспыхнул на огне и дал яркое светящееся пламя. Ученый понял, что случай помог ему сделать открытие чрезвычайной значимости.

В 1794 г. (по другим данным пятью годами позже) *Ф. Лебон* получил патент на аппарат перегонки древесины и угля, в 1799 г. - на постройку газового завода (с получением горючего газа, древесного спирта и дёгтя), а ещё через два года, в 1801 г., - на проект газопоршневого двигателя.

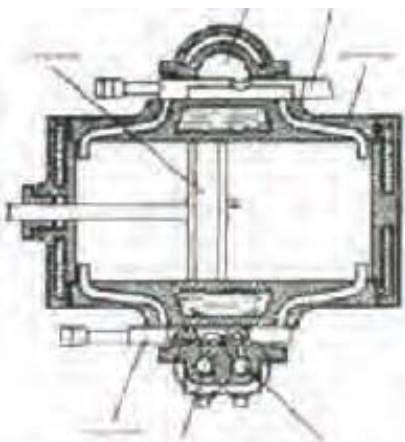


Рис. 3.3 Схема газопоршневого двигателя Филиппа Лебона

Двигатель работал по принципу парового двигателя, только вместо пара в его цилиндр подавался искусственный горючий газ, зажигаемый поочередно по ту и другую стороны поршня (см. Рис. 3.3).

К началу XIX века *Лебон* осветил свой дом и сад газовыми фонарями. Один из парижских журналов тогда откликнулся на эти события следующими словами: «...Господин *Лебон* доказал, что рачительно собранным дымом можно произвести приятную теплоту и весьма яркий свет. Делая опыты над своим изобретением, сверх семи комнат, осветил он целый сад...».

30 ноября 1799 г. *Ф. Лебон* предложил правительству Франции аппарат для общественного отопления и освещения, но предложение отвергли. Это было вполне в духе времени - пятью годами ранее на просьбу отсрочить казнь другому выдающемуся учёному *А. Лавуазье*, имеющему отношение к нашей теме (см. Гл. 2), революционным судом было заявлено «*Республика не нуждается в гениях!*» Как мне это напоминает ещё одну страну (только в ней это происходило и происходит независимо от политического режима...)!

Свой аппарат для перегонки в газообразное состояние твёрдых топлив *Лебон* назвал «термолампом», что в переводе означает «теплосвет». Некоторое время спустя это название позаимствует для своего аппарата получения горючего газа отечественный изобретатель *П.Г. Соболевский* (см. Гл. 4).

В 1801 г. русский посол во Франции *Д.А. Голицын* предложил профессору переехать в Россию, для внедрения там своего изобретения, но француз отказался покидать родную страну. Не смотря на данный ранее отказ французского правительства, он был уверен, что его изобретение будет полезно Франции.

Вскоре *Ф. Лебон* за свой счёт оборудовал систему газового освещения в парижской гостинице «Сеньеле». Благодаря его усилиям была освещена и одна из парижских улиц (Сент-Доминик).

Эта деятельность учёного вызвала нешуточную обеспокоенность многих коммерсантов, отвечающих в то время за уличное освещение и получающее на этом немалый доход. Они развернули травлю изобретателя, не прекращавшуюся до его таинственной смерти в 1804 г. в 35-летнем возрасте (его труп нашли на Елисейских полях с 13 кинжальными ранами в груди).



Рис. 3.2 Филипп Лебон (1769 - 1804 гг.)

Другая, не менее представительная часть историков уверена, первенство в области ГКТ по праву принадлежит шотландскому механику и изобретателю *Уильяму Мердоку* (см. Рис. 3.4), работавшему в конце XVIII века у знаменитого изобретателя парового двигателя *Джеймса Уатта*.

Мердок параллельно и не зависимо от *Лебона* занимался вопросами получения горючего газа из твёрдого топлива (прежде всего из каменного угля) в Англии. Есть сведения, что он, начиная с 1792 г. осуществлял эксперименты, результатом которых стало получение искусственного горючего газа из каменного угля (существовало, правда, мнение, что газ был всё-таки побочным продуктом, а целью *Мердока* было «светильное масло»). Кроме того, начиная с 1798 г. он разрабатывал различные конструкции газовых горелок, в которых сжигал полученный газ, а также исследовал формы реторт, где собственно и осуществлялся процесс газификации.

Первый сконструированный *У. Мердоком* газовый фонарь состоял из реторты с углями, четырехфутовой гнутой стальной трубки и старого мушкета. Этот светильник воспламенялся посредством оружейного кремневого бойка, наподобие современной зажигалки.

Ещё одним изобретением шотландца стал переносной газовый фонарь по конструкции и размерам напоминавший шотландскую волюнку. Газом *Мердок* освещал собственный дом в Редруте и офис в Корнуэлле, а также с 1802 г. фабрику *Бультона* и *Уатта* в Бирмингеме (по другим данным – это произошло на несколько лет раньше) и с 1803 г. - бумагопрядильную фабрику *Филипса* и *Ли* в Манчестере, а также один из лондонских театров.

Разрешить этот спор можно, уточняя вид твёрдого топлива, из которого научились производить, и, главное, применять горючий газ наши претенденты. Применительно к древесине и биомассе в целом первенство с чистым сердцем можно отдать французу *Филиппу Лебону*. А вот когда речь зайдёт об угле и других горючих ископаемых (каустобиолитах) – тут бесспорным пионером будет англичанин (шотландец) *Уильям Мердок*. Но лично я бы разрешил этот спор в пользу обоих учёных и присвоил бы их изобретению двойное имя – газогенератор *Лебона-Мердока*, ну, или *Мердока-Лебона*. Тем более что в научном мире это довольно распространённое явление.



Рис. 3.5 Ночь, улица, фонарь...
(аптека – за углом)



Рис. 3.4 Уильям Мердок
(1754-1839 гг.)

Генераторный (точнее – пиролизный) газ первоначально, в начале позапрошлого столетия, был назван «*светильным газом*» (в английской терминологии: «*outdoor lighting gas*»). Такое название объясняется тем, что главным его предназначением в течение почти всего XIX века и до середины XX века включительно было освещение улиц и площадей городов Европы, США, Канады и Австралии (см. Рис. 3.5).

Примерно полтора века (в течение почти всего XIX века и более половины XX века) ГГ уже был в числе основных энергоносителей нашей цивилизации. Более того, газовое освещение было в XIX столетии синонимом просвещения и технического прогресса.

Правда, когда в начале XIX века ещё один энтузиаст газификации *Фридрих Альберт Винцер*, уроженец немецкого города Брауншвейга, предложил использовать для освещения Лондона газ, образующийся при нагревании без доступа воздуха каменного угля, его встретил град насмешек и

издевательств. Владельцы свечных заводов, боясь потерять свои прибыли, объявили изобретателя сумасшедшим. О нём писали фельетоны, слагали саркастические стишки и забавные песенки. Присоединился к скептическому хору, в частности, и всемирно известный английский писатель *Вальтер Скотт* (см. эпиграф к главе). Однако насмешки не остановили изобретателей. *Винцер* и *Мердок* настойчиво доказывали повсюду свою правоту. И вот в 1804 г. в Лондоне было учреждено первое общество газового освещения, а в 1806 г. огни газовых фонарей осветили улицу Пэлл-Мэлл в английской столице.

Стараниями британцев, трепетно относящихся к своей истории, именно этот год считается годом рождения мировой газовой отрасли.

В том же 1806 году в Лондоне впервые в истории была осуществлена очистка газов от вредных примесей средствами химического связывания (при очистке светильного газа от сероводорода), а стараниями *Дэвида Мервила* первые экспериментальные установки для получения светильного газа появились и за океаном в США.

Первые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) использовали в качестве топлива именно газообразное топливо искусственного происхождения.

Так, в 1806 г. швейцарским инженером *Франсуа Исааком де Ривасом* был построен и год спустя запатентован, возможно, первый в истории ДВС, работающий на смеси воздуха с каменно-угольным светильным газом либо на водородно-кислородной газовой смеси.

В 1807 году он подал заявку на патент под названием «*Использование взрыва светильного газа или иных взрывающихся материалов как источника энергии в двигателе*».

В том же году изобретателем была предпринята попытка встроить этот двигатель, состоящий из цилиндра, в котором за счёт взрыва горючей газовой смеси поршень перемещался вверх, а при движении вниз приводил в действие качающийся рычаг или ременной шкив, в некое подобие автомобиля. Но очередная война (*де Ривас* был офицером наполеоновской армии) прервала дальнейшее развитие этого предшественника автомобиля с ДВС.

Почти сразу светильный газ стали использовать в качестве источника света на маяках – сначала в Англии (с 1806 или 1807 года), а затем, с 1818 г. – в итальянском Триесте и с 1819 г. – в окрестностях немецкого Данцига (теперешнего польского Гданьска).

С 1809 года заводчик и инженер *Оберто* (Франция) начал использовать колошниковый (доменный) газ для цементации стали (насыщения поверхностного слоя углеродом), обжига кирпича, выжигания извести и для других подобных термических процессов. Двумя годами позже *Оберто* взял привилегии на эти техпроцессы.

В 1811 г. *П.Г. Соболевский* завершает работы по созданию первого российского аппарата для получения светильного газа (см. Гл. 4).

По проекту *У. Мердока* в начале XIX века были освещены прядильные фабрики в графстве Ланкашир и мануфактуры в Сохо.

Эти успехи, привлекли внимание других учёных и инженеров, которые занялись усовершенствованием разработок *Мердока*. В их числе можно отметить химика *Генри* и механика *Клегга*.

Сэмюэлю Клеггу принадлежит, в частности, идея применения извести для очистки газа. Он предложил также особую систему приемников, в которых могла сгущаться смола, прибор для регулирования давления, ретортные печи со сводом (т.н. «печи Клегга») и изобрел газометр-счетчик. Наконец именно под руководством *Клегга* 13 декабря 1813 г. впервые осветили газом Вестминстерский мост (именно этот год некоторые историки называют датой создания газового хозяйства в Лондоне).

В тот же 1813 год первые экспериментальные газовые фонари зажглись на Адмиралтейском бульваре в столице Российской Империи Санкт-Петербурге (см. Гл. 4).

В 1814 г. газовые фонари загорелись на улице Святой Маргариты в Лондоне.

В 1815 г. англичанином *Джоном Тайлором* была взята привилегия на освещение масляным газом, для добывания которого он употреблял животные и растительные масла. Таким газом освещались некоторое время города Ливерпуль и Гуль. Однако лишь в 70-х годах XIX века освещение масляным газом получило распространение в Европе, когда этот газ стали получать из минеральных масел, нефти и нефтяных остатков.

Использовался для освещения Лондона и горючий газ, образующийся в системе городской канализации и состоящий преимущественно из метана. Лондонцы такие фонари, стойки которых были сделаны из чугуна, называли «Железными Лилли». Однако главным предназначением данных фонарей было не освещение городских улиц и площадей, а предотвращение образования взрывоопасных смесей в подземных полостях путём их непрерывного сжигания.

Среди основоположников технологий газификации КТ и последующего использования ГГ можно также отметить нашего соотечественника *П.Г. Соболевского* (см. Гл. 4), *С. Миткедереома* (Бельгия), инженера *Бернардуса* (Нидерланды), англичанина *Роберта Стрита* и американца *Питера Купера*.

В 1815 г. трубы газового завода задымили в американском городе Балтиморе (по другим данным – годом и даже шестью годами позже) и на тёмные ночные улицы города пришёл газовый свет. *Эдгар По* так описал его в своем «Человеке толпы»: «...лучи газовых фонарей, вначале с трудом борющиеся со светом угасающего дня, теперь сделались ярче и озаряли все предметы своим нервным сиянием. Все вокруг, было мрачно, но сверкало подобно черному дереву, с которым сравнивают слог Тертуллиана...».

1816 год считается стартовым для газового хозяйства Парижа (см. Рис. 3.6).

В том же году в английском Брайтоне под руководством *У. Мердока* построен первый промышленный газгольдер (ёмкость или здание для хранения газа, изначально – светильного).

Сооружение имело прямоугольную форму и состояло из металлического бассейна с водой, над которым располагался металлический колокол. Газ наполнял пространство между бассейном и колоколом, поднимающимся по вертикальным направляющим. Данный газгольдер относится к типу т.н. «мокрых газгольдеров», представляющих собой либо отдельную конструкцию, либо устанавливаемых в специальном здании. Четырьмя годами позже датируется появление первого газгольдера цилиндрической формы (автор – другой англичанин и основоположник газового дела *С. Клегг*).



Рис. 3.6 Парижский газовый фонарь XIX века, доживший до наших дней. На заднем плане – Эйфелева башня



Рис. 3.7 Зрительный зал парижской «Гранд-Опера»

В том же 1816 году свой первый патент на «...машину, которая производит движущую силу посредством нагретого воздуха...» получил пастор, в последствии министр Шотландии по делам церкви, *Роберт Стирлинг*. В 1827 и 1840 гг. он получил ещё два патента на усовершенствованные двигатели внешнего сгорания.

Проиграв двигателям внутреннего сгорания конкурентные битвы в XIX и XX столетиях, двигатели *Стирлинга* имеют хорошие шансы взять реванш в текущем веке. Естественно, что в качестве топлива

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Вступление	4
Глава 1 Сущность и специфические особенности процесса газификации конденсированных топлив	8
Глава 2 Зарождение технологий газификации	12
Глава 3 Становление и применение технологий газификации в Европе конца XVIII - середины XIX века	19
Глава 4 Газификация в России от возникновения до 30-х годов XIX века	33
Глава 5 Газификация в России в 30-50-х годах XIX века	47
Глава 6 Газификация в России в 60-80-х годах XIX века	58
Глава 7 Развитие технологий газификации в Европе и мире в последней трети XIX века	71
Глава 8 Газификация в России в конце XIX - начале XX века	82
Глава 9 Применение технологий газификации в Европе и мире в первые два десятилетия XX века	92
Глава 10 Укрепление позиций газификации за рубежом в 20-е и 30-е годы XX века	97
Глава 11 Блау-газ – топливо для самого успешного в истории дирижабля	111
Глава 12 Советское довоенное стационарное и бытовое газогенераторостроение	113
Глава 13 Советское довоенное автомобильное газогенераторостроение	129
Глава 14 Советское довоенное сельскохозяйственное и лесопромышленное газогенераторостроение	146
Глава 15 Советское довоенное железнодорожное газогенераторостроение	150
Глава 16 Советское довоенное газогенераторостроение для водного транспорта и систем воздушного заграждения	153
Глава 17 Зарубежная газогенераторная техника времён II мировой войны	158
Глава 18 Немецкое «чудо-оружие возмездия» на основе искусственных горючих газов	170
Глава 19 Советская газогенераторная техника времён Великой Отечественной войны	172
Глава 20 Зарубежная газогенераторная техника в послевоенные годы	178

Глава 21	Советская стационарная газогенераторная техника в послевоенные годы	184
Глава 22	Советская транспортная газогенераторная техника в послевоенные годы	195
Глава 23	Технологии газификации конденсированных топлив в период с 60-х годов XX-го до начала XXI-го века	204
Глава 24	Основные направления возможного применения технологий и оборудования газификации конденсированных топлив	219
Глава 25	Энергетика, основанная на технологиях газификации, – одна из реальных альтернатив существующей нефтегазовой энергетики	222
Глава 26	Газификация углеродсодержащих отходов различного происхождения	225
Глава 27	Газификация фитомассы, как экологически чистого и возобновляемого источника энергии	238
Глава 28	Химическое направление газификации конденсированных топлив	243
Глава 29	Подземная газификация полезных ископаемых	254
Глава 30	Основные способы и схемы газификации конденсированных топлив	263
Глава 31	Преобразование химической и тепловой энергии генераторного газа в электроэнергию	272
Глава 32	Два подхода к конструированию оборудования газификации	275
Глава 33	Достигнутый уровень и ближайшие перспективы технологии газификации конденсированных топлив за рубежом	280
Глава 34	Достигнутый уровень и ближайшие перспективы газификации в России и странах – бывших республиках СССР	291
	Заключение	308
Приложение А	Глоссарий (перечень терминов/основных понятий и их определений в области газификации конденсируемых топлив и смежных с ней областей, а также отдельные сведения о некоторых из этих понятий и терминов)	310
Приложение Б	Перечень научных работ и печатных публикаций, касающихся темы газификации конденсированных топлив	363
Приложение В	Перечень ссылок на Интернет-ресурсы, содержащие сведения на тему газификации конденсированных топлив	500
	Сведения об авторе	502