Глава 1

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ИСТОРИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Состав природного газа

Природный газ состоит в основном из простейшего углеводорода метана (CH_4) и более тяжелых и сложных углеводородов, таких как этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) (см. табл. 1.1). Ценность природного газа заключена в его основном свойстве — горении; это наиболее чистое ископаемое топливо, при сгорании которого образуются главным образом пары воды и диоксид углерода. Знакомый всем газ, который используется в домашних условиях или в промышленности, состоит почти целиком из метана. Метан — бесцветный газ без запаха, легко горит, давая бледное, слегка светящееся пламя (характерный запах придается газу искусственно). Кроме того, метан является важным сырьем для производства растворителей и других органических веществ. Пропан и бутан обычно извлекают из природного газа и продают отдельно. Сжиженный нефтяной газ, в основном пропан, как правило, заменяет природный газ в сельских районах, где нет газопроводов.

Часто природный газ содержит примеси, такие как диоксид углерода (углекислый газ), сероводород (высокосернистый газ), вода, а также азот, гелий или следы других газов. Поскольку диоксид углерода (CO_2) не горит, его наличие снижает ценность природного газа. Однако углекислый газ можно нагнетать в старые (истощенные) нефтяные скважины для повышения их производительности, поэтому иногда его вы-

Таблица 1.1. Средний углеводородный состав типичного природного газа, добываемого в США

Газ	Содержание, %
Метан	88
Этан	5
Пропан	2
Бутан	1

деляют из природного газа и продают как отдельный побочный продукт. Азот также пригоден для нагнетания в нефтяные скважины. Гелий является ценным продуктом, он используется в электронной промышленности, а кроме того, для заполнения дирижаблей и воздушных шаров.

Соединенные Штаты обладают почти полной монополией на мировое производство гелия благодаря газовому месторождению в Хьюготон-Панхандл, в котором содержание гелия достигает 0,5—2%. Это месторождение, расположенное поблизости Амарилло (Техас), называют гелиевой столицей мира. Для других коллекторов природного газа примеси гелия нехарактерны.

Сероводород (H_2S) очень ядовит и даже в незначительной концентрации может оказаться смертельно опасным. Запах этого газа ощущается уже при самых малых его количествах — отвратительный запах тухлых яиц. Малосернистый («сладкий») природный газ не содержит обнаруживаемых количеств сероводорода. Кроме того, сероводород еще и коррозионно-агрессивен, он может повреждать трубы, арматуру и клапаны в газовых скважинах. Поэтому перед подачей в трубопровод природный газ должен быть очищен от сероводорода, диоксида углерода и большей части воды (дегидратация).

Происхождение природного газа

Образование

Практически весь природный газ находится в подземных коллекторах, чаще всего сопутствующих месторождениям нефти. Природный газ и нефть образовались миллионы лет

назад в результате разложения погибших растений и животных, опустившихся на дно древних озер и океанов. Значительная часть этого органического вещества разложилась на воздухе (окислилась), и продукты ушли в атмосферу, но некоторая часть, прежде чем успела разложиться, была покрыта сверху последующими отложениями либо попала в стоячую воду, не содержащую кислорода.

В течение веков песок, ил и прочие отложения опускались на дно водоема и *литифицировались* (уплотнялись, образуя горную породу). По мере накопления этих слоев органическая материя оказывалась заключенной в осадочной породе. Под действием веса залегающих сверху слоев в органической массе создавалось высокое давление и повышалась температура, в результате чего она постепенно превращалась в нефть и газ. Осадочные *материнские* породы, например каменный уголь, сланец и некоторые известняки, имеют темную окраску, так как богаты органическим веществом. Многие осадочные месторождения содержат большое количество газа, из них добывают в основном природный газ.

Каменный уголь образовался из древесины, которая с течением времени трансформировалась под действием высоких температур. Благодаря своему специфическому химическому составу, древесина и каменный уголь образуют единственный газ — метан. А он взрывоопасен, поэтому в угольных шахтах бывают взрывы. В угольные пласты часто бурят скважины для добычи так называемого *газа угольных пластов*, который представляет собой чистый метан, образовавшийся в процессе превращения древесного материала в каменный уголь. Газ адсорбируется на поверхности угля вдоль естественных трещин, из которых сначала выделяется вода, а затем — метан. К продуктивным бассейнам для добычи газа угольных пластов относятся Сан-Хуан (штат Нью-Мексико) и Блэк-Уорриор (штат Алабама).

В других материнских коллекторах образование нефти либо газа определяется таким фактором, как температура. На сравнительно небольшой глубине, где температура недостаточно высока для получения нефти, за счет действия бактерий

быстро образуется *биогенный* (микробный) газ, который представляет собой почти чистый метан (см. рис. 1.1).

Обычно биогенный газ, который также называют *болотным* (или *болотистым*) газом, редко сохраняется в виде залежей, так как в огромных количествах улетучивается в атмосферу. Наиболее крупное (285 трлн фут.^{3}, или 8 трлн м^3) в мире газовое месторождение — Уренгойское (Сибирь) — имеет биогенное происхождение, в нем газ заключен в ловушку под слоем вечной мерзлоты.

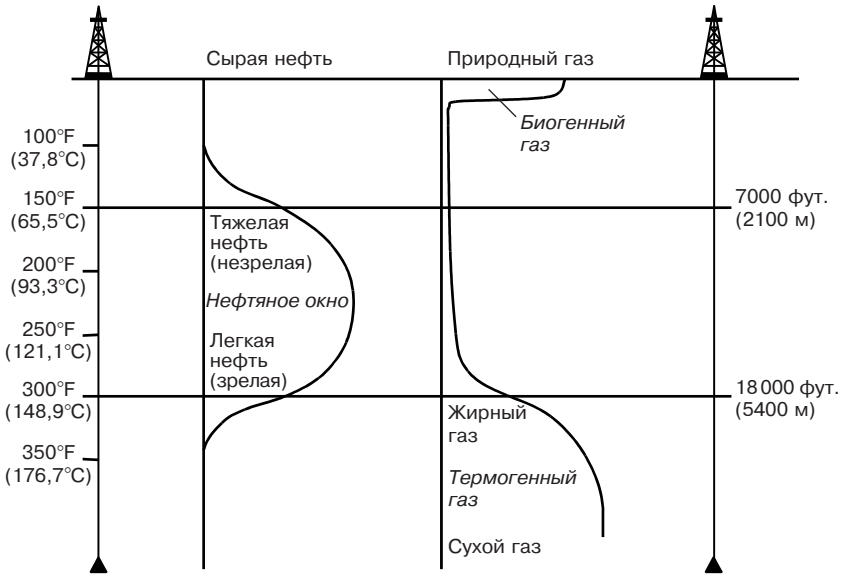

Рисунок 1.1
Образование нефти и газа

Источник: *Hyne Norman J.* Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling and Production. PennWell, 1995.

На большей глубине при более высоких температурах (выше 300°F, или 148,9°C) образуется *термогенный* газ. Этот газ может задерживаться в подземных коллекторах, часто под слоем непроницаемой покрывающей породы, которая ме-

шает газу просачиваться вверх. В некоторых газовых коллекторах более тяжелые жидкие углеводороды испаряются вследствие высоких температур. При добыче газа температура снижается, и эти углеводороды снова переходят в жидкое состояние, образуя *конденсат*. Жидкость представляет собой преимущественно бензин, или газовый бензин. В случае отделения вместе с бутаном, пропаном и этаном конденсат называют также *природный газоконденсат* (или широкая фракция легких углеводородов). В коллекторе и даже в процессе добычи *жирный* газ, содержащий конденсат, находится в газообразном состоянии, но на поверхности выделяется жидкий конденсат. *Сухой* газ состоит в основном из метана, он не образует жидкости ни в коллекторе, ни на поверхности.

При воздействии высоких температур на большой глубине (18 000 фут., или более 5500 м) сырая нефть может превращаться в природный газ и графит (углерод) в результате процесса, аналогичного термическому крекингу на нефтеперерабатывающем заводе. При этом крупные молекулы фактически разрываются на части, образуя фрагменты меньшего размера. Ниже этого уровня в коллекторе может находиться только газ, поэтому при поисках природного газа бурят наиболее глубокие скважины. В процессе бурения глубоких газовых скважин в коллектор, расположенный в песчанике, во многих случаях видно, что песчинки покрыты углем. По-видимому, первоначально в коллекторе присутствовала нефть, которая находилась слишком глубоко и подверглась термическому крекингу, в результате чего образовался природный газ.

Оригинальную абиогенную (небиологическую) теорию происхождения газа предложил астрофизик Томас Гоулд, к идеям которого нефтяники отнеслись скептически. В соответствии с его теорией *абиогенный* газ образовался из углерода, занесенного на Землю метеоритами. Углерод прореагировал с водородом, имеющимся в атмосфере, с образованием твердых углеводородов, которые затем при нагревании превратились в метан. Если эта теория верна, то залежи первичного газа могут находиться на гораздо большей глубине, чем ранее предполагалось, и места́ залегания должны отли-

чаться от общеизвестных. Для проверки данной гипотезы была пробурена скважина в кратере Сильян (Швеция), куда в древности упал метеорит, однако больших количеств газа не обнаружили. Бурение приостановили в 1989 г. на глубине 22 824 фут. (6957 м) в связи с трудностью внедрения в гранитную породу.

Миграция и накопление

Газ может быть вытеснен из материнской породы двумя способами. Во-первых, при увеличении глубины залегания породы давление в пластах повышается и сжимает породу, при этом уменьшается объем ее пор и газ выталкивается наружу. Во-вторых, по мере образования газа увеличивается его объем, в результате порода может расколоться, что позволит газу выйти наружу. Поскольку газ имеет низкую плотность, он перемещается вверх по разломам и сбросам либо движется сначала горизонтально, а затем вверх сквозь проницаемые слои пород. Такое вертикальное и горизонтальное перемещение газа из материнской породы называется *миграцией*.

Чтобы газ попал под землей в ловушку, необходимо наличие непроницаемого вышележащего слоя покрывающей породы. Если на пути движения не встречается ловушка, газ просачивается вверх и постепенно выходит на поверхность. В действительности большая часть газа, образовавшегося в течение веков, была потеряна именно таким образом, а не остановлена в ловушках, и именно поэтому многие разведочные скважины оказываются непродуктивными. Кроме того, вследствие миграции газ, образовавшийся на большой глубине, оказывается в ловушках значительно ближе к поверхности.

После попадания в ловушку газ поднимается в верхнюю ее часть и заполняет поры горной породы. Если там же имеется нефть, то она располагается ниже газа. Газ, *сопутствующий* нефти, находится под землей в контакте с сырой нефтью либо в виде шапки над слоем нефти, либо в растворенном состоянии в нефти. Попутный газ помимо метана содержит множество других углеводородов. *Свободный* природный газ

не контактирует в ловушке с нефтью, из такого газового коллектора добывается практически только метан.

Порода-коллектор, в которой удерживается газ, должна быть пористой и проницаемой. *Пористость* характеризует емкость породы-коллектора по отношению к флюиду (нефти или газу), а *проницаемость* показывает, насколько легко флюид может проходить через породу. Чаще всего породы-коллекторы представляют собой проницаемые песчаники или карбонаты, но иногда газ обнаруживается и в «упругих» (непроницаемых) пластах.

Краткая история природного газа

История природного газа насчитывает тысячи лет, но только недавно, в 1930-е годы, газ стал использоваться в качестве топлива и приобрел важное значение в повседневной жизни. К концу XX в. природный газ оказался необходимым источником энергии в большей части промышленно развитого мира.

Еще в 940 г. до н. э. в Древнем Китае природный газ направляли по полым бамбуковым трубкам на побережье, где люди кипятили океанскую воду и таким образом добывали соль. Некоторые специалисты считают, что китайцы умели бурить газовые скважины до глубины 2000 фут. (600 м). В Японии обнаружены скважины, относящиеся к 600 г. до н. э.

Другие древние цивилизации знали, что из-под земли выходит газ и что он способен гореть. Для охраны такого таинственного «вечного факела» специально строили храмы, и посетители смотрели на него со смесью почтения и суеверного поклонения. В более поздних литературных источниках упоминаются «столбы пламени» и пузырящаяся волшебная вода, которая «горит как масло». Точно так же Джордж Вашингтон в США описывал «горящий источник». Однако прошло еще очень много времени, прежде чем эти явления привели к повсеместному практическому применению природного газа.

Появление газовой промышленности

Зарождающаяся газовая промышленность в Америке и в Европе была основана не на природном, а на *синтетическом* (так называемом *светильном*) газе, который получали нагреванием каменного угля. Применение такого *каменноугольного* газа (который также называется *коммунальный* газ) для освещения кардинально изменило образ жизни людей в начале XIX в. Длительность рабочего дня на фабриках значительно увеличилась; люди у себя дома по вечерам получили возможность читать газеты и книги, не пользуясь дорогими и небезопасными свечами.

Шотландский изобретатель Уильям Мёрдок одним из первых признал, что газ — более удобный источник энергии, чем уголь, прежде всего потому, что он может поступать по трубам и его расходом легче управлять. Уже в 1792 г. он освещал свой дом каменноугольным газом, несмотря на то что его соседи боялись взрыва. Мёрдок продолжал разработку методов производства, хранения и очистки каменноугольного газа, и компания, на которую он работал (Boulton & Watt, известная разработкой паровых двигателей), начала устанавливать газовое освещение на фабриках в Англии. Заключение мирного договора между Англией и Францией в 1802 г. было отмечено праздничной иллюминацией в Бирмингеме, устроенной с помощью газовых огней, что послужило импульсом к бурному развитию этой отрасли.

В то же время во Франции Филипп Лебон проводил эксперименты с газом, полученным нагреванием опилок, древесины и угля. В 1799 г. он запатентовал метод отгонки газа из древесины и изобрел один из первых газовых светильников (газовый рожок), который был назван *термолампой* и экспонировался на выставке в Париже в 1802 г. Однако правительство Франции отвергло идеи Лебона о крупномасштабной системе газового освещения. Значительный интерес вызвали другие публичные демонстрации газовых светильников в Европе и в Англии.

Немецкий предприниматель Фредерик Винзор предложил производить большие количества газа и распределять их

с помощью централизованной системы. Он организовал совместное предприятие и обеспечил его финансирование. На дне рождения короля Англии Винзор провел демонстрацию газовых светильников. В 1807 г. он организовал в Лондоне показ газовых фонарей для уличного освещения, которые были одним из первых в мире устройств такого типа. После дебатов с Уильямом Мёрдоком Винзору предоставили право организации первой акционерной газораспределительной компании (основана в 1812 г.).

Первоначально в газораспределительных системах использовали деревянные трубы, которые затем были заменены металлическими трубами или «цилиндрами» (устроенными таким же образом, как стволы корабельных пушек). В других малых и больших городах также устанавливали центральные газогенераторные станции и прокладывали системы трубопроводов, и уже к 1819 г. только в Лондоне было проложено почти 300 миль (480 км) газовых труб, которые снабжали более чем 50 тыс. горелок.

На другой стороне Атлантического океана американские предприниматели не отставали от европейских. В 1802 г. Чарлз Пил провел испытания газовых светильников в своем музее естествознания во Дворце независимости в Филадельфии. В 1816 г. его сын Рембрандт Пил получил задание смонтировать систему распределения газа и газового освещения в Балтиморе, где в этом же году была организована первая в Америке компания газоснабжения. Как и в Англии, в системе распределения газа были использованы деревянные трубы. Вскоре газовые компании появились в нескольких крупных городах на востоке США. Первая газовая компания на юге США была организована в Новом Орлеане, а затем в Монреале.

К концу XIX в. приблизительно тысяча компаний в США продавали каменноугольный газ, в основном для освещения, и система газоснабжения охватила большую часть крупных городов во всем мире. С фабрик и улиц газовые светильники проникли в дома, образовательные учреждения и общественные здания, где дискуссии о политике могли теперь продолжаться до позднего вечера.

Выдерживание конкуренции

Хотя счетчик для измерения расхода газа был изобретен уже в 1815 г., первое время объем газа, поступавший к большинству потребителей, вообще не измеряли. Вместо этого установили фиксированный тариф, в зависимости от количества и типа используемых светильников и времени их работы. Газовые счетчики для измерения объема израсходованного газа появились в Лондоне в 1862 г., и основной принцип работы этих первых счетчиков действует по сей день. В 1890-х годах были изготовлены счетчики, работающие по типу монетного автомата, в результате чего даже семьи рабочих смогли позволить себе газовое освещение, и число потребителей значительно увеличилось.

Одним из наиболее важных изобретений этого периода, сделанным в 1855 г., была горелка Бунзена, с помощью которой получали высокотемпературное синее пламя. За счет подмешивания к газу некоторой части воздуха перед сжиганием горелка обеспечивала более полное сгорание газа, что повышало количество выделившейся теплоты. Это изобретение стало огромным шагом вперед в расширении сферы использования газа. Кроме того, в XIX в. была разработана более гибкая технология производства газа, по которой получали газ с лучшими осветительными свойствами.

Однако в конце XIX в. зарождающаяся газовая промышленность была практически уничтожена в результате появления электрического освещения — дуговой лампы и электрической лампочки Томаса Эдисона. И только своевременное изобретение газокалильной сетки австрийским химиком Карлом Ауэром фон Вельсбахом в 1885 г. предотвратило уничтожение газовой промышленности. В этом устройстве газовое пламя накрывали цилиндрической сеткой (см. рис. 1.2), в результате пламя становилось белым и более ярким, в то время как первые электрические лампочки светили очень слабо. Даже в 1920 г. одна пятая часть газа, который производили и распределяли, была все еще предназначена для освещения, а газокалильная сетка с тех пор была модифицирована для декоративного газового освещения.

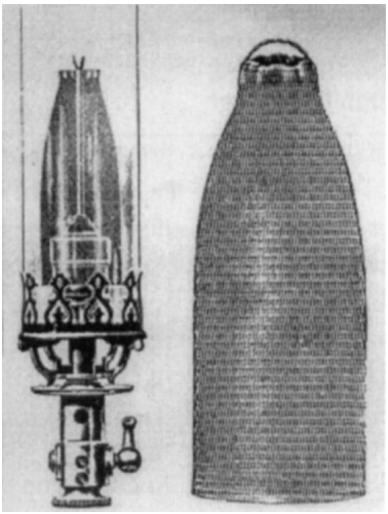

Рисунок 1.2
Газокалильная сетка

Другим значительным достижением того периода стала коксовая печь с выталкиванием кокса (см. рис. 1.3), созданная для удовлетворения увеличивающихся потребностей в доменном коксе в связи с быстрым ростом черной металлургии и сталелитейной промышленности. *Кокс* — это твердый пористый побочный продукт производства газа, который также можно использовать для отопления жилых помещений. Вследствие его полезных свойств в названиях многих предприятий и продуктов часто сохраняется слово «кокс». К 1920 г. на долю коксового газа приходилось 18,7% от общего количества производимого и распределяемого газа.

Газовая промышленность продолжала совершенствоваться за счет использования газа для иных целей, помимо освещения. Первая газовая плита в США появилась примерно в 1840 г., а в 1879 г. была создана конструкция, напоминающая современную газовую плиту, — плита «солнечные часы» компании Goodwin (см. рис. 1.4). Через два года были организованы еще две компании — производители газовых плит, а в 1887 г. в Провиденсе (Род-Айленд) был открыт первый

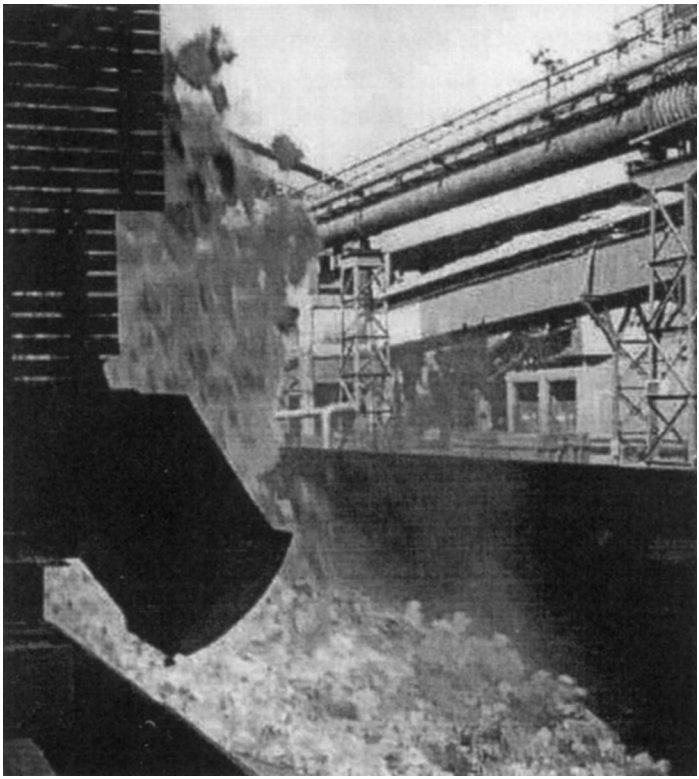

Рисунок 1.3
Коксовая печь с выталкиванием кокса

магазин газовых устройств. Деятельность компаний по газоснабжению, направленная на использование газа для приготовления пищи, была столь эффективной, что к 1900 г. эта область газовой промышленности оказалась основной.

Более широкое использование газа для нагревания воды — результат той же деятельности. Газовые горелки стали устанавливать на водяных цистернах в начале 1860-х годов. В 1883 г. появилось дешевое и эффективное устройство для нагревания оборотной воды, а несколькими годами позже был разработан нагреватель воды с терморегулятором — предшественник автоматических водонагревателей.

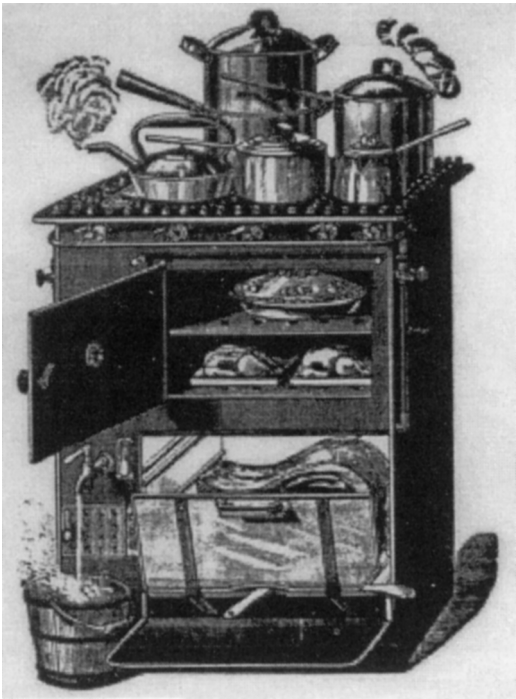

Рисунок 1.4
Домашняя газовая плита компании Goodwin

Переход от каменноугольного (синтетического) газа к природному

В начале XIX в. в скважинах, пробуренных для добычи воды или рассола, часто случайно находили природный газ. В большинстве случаев появление газа воспринималось как помеха, так как оно затрудняло применение скважины по назначению. И очень редко предпринимали попытки использовать этот газ в небольших масштабах. В 1821 г. во Фредонии (штат Нью-Йорк) оружейный мастер Уильям Харт пробурил первую в Америке газовую скважину, которая была закрыта сверху большой бочкой. Газ из этой неглубокой скважины (27 фут., или 8,2 м) поступал по деревянным трубам в близле-

жащие дома. Несколько лет спустя природный газ использовали для освещения городских улиц в честь приезда генерала Лафайетта.

В течение 1930—1940-х годов было пробурено еще несколько газовых скважин в Пенсильвании, Нью-Йорке и Западной Вирджинии, в том числе скважина глубиной 1000 фут. (300 м) вблизи «горящего источника» Джорджа Вашингтона. Давление газа в этой скважине было достаточно высоким, чтобы поднять в воздух столб воды высотой 150 фут. (50 м). В то время природный газ использовали только вблизи газовых скважин, прежде всего потому что применявшиеся трубы были непригодны для транспортировки на большие расстояния.

К моменту основания первой компании по снабжению природным газом в 1865 г. во Фредонии недалеко от Тайтусвилла (Пенсильвания) было открыто месторождение нефти и пробурена первая продуктивная нефтяная скважина. При поисках нефти, которые за этим последовали, обнаружение газа было нежелательно, так как газ невозможно собрать и использовать без установки трубопровода, в то время как нефть можно просто развозить к потребителям. Поэтому газовыми скважинами, обнаруженными при поисках нефти, не управляли, их просто оставляли открытыми с выходящим из них потоком газа на недели и месяцы в надежде, что рано или поздно оттуда появится нефть. Газ, который выходил из скважин вместе с нефтью, обычно сжигали или отводили на факел.

Природный газ был впервые использован в металлургической промышленности в Пенсильвании, что послужило его дальнейшему применению в этой отрасли, в частности в районе Питтсбурга. Для транспортировки природного газа на небольшие расстояния — к сталелитейным заводам в пределах штата — было организовано несколько компаний. В 1885 г. Эндрю Карнеги заметил, что природный газ, используемый в производстве стали, заменяет 10 000 т (9070 метрических тонн) каменного угля в день. Однако этот бум был кратковременным, так как газовые коллекторы в данном районе вскоре истощились. К 1900 г. сталелитейные предприятия в окрестностях Питтсбурга вернулись к использованию угля.

В течение следующих 25 лет снабжение природным газом имело тот же характер переходов от бума к спаду. В быстром истощении некоторых газовых месторождений в то время свою роль сыграло бесконтрольное расходование газа, а также утечка из некоторых плохо смонтированных трубопроводов. К 1920 г. наиболее серьезные точки бесконтрольного расхода газа были ликвидированы, тем не менее вплоть до 1950-х годов на некоторых нефтяных месторождениях продолжали сжигать большие количества газа.

Расширение сети газопроводов

Улучшение технологии строительства трубопроводов и обнаружение все больших количеств природного газа постепенно привело к очередному росту газовой промышленности. В Западном Блумфилде (штат Нью-Йорк) в 1870 г. были пробурены нефтяные скважины с очень высоким свободным фонтанированием природного газа. Хотя поначалу газ расходовался впустую, позднее его начали подавать в Рочестер с помощью первого «магистрального» газопровода (см. рис. 1.5), трубы которого были изготовлены из сосновых бревен, диаметр их составлял менее 30 см, а длина — всего 25 миль (40 км).

Транспортировка природного газа под давлением была начата в 1891 г. компанией Indiana Gas and Oil по двум параллельным трубопроводам, изготовленным из ковкого чугуна. Трубопроводы соединяли Индианское газовое месторождение и Чикаго (длина 120 миль, или 198 км); работали под давлением 525 psi * (3620 кПа). Вследствие нерегулируемого использования это месторождение истощилось к 1907 г., и по его трубопроводу стали транспортировать каменноугольный газ.

Когда большие количества природного газа были обнаружены в Техасе, Оклахоме и Луизиане, началось сооружение газопроводов для снабжения рынков, расположенных сравнительно близко к месторождениям. Транспортировка газа

* Единицы измерения давления: psi — фунт/дюйм^2, 1 psi = 0,07 атм (кг/см^2) = = 6,89 кПа. — *Примеч. переводчика.*

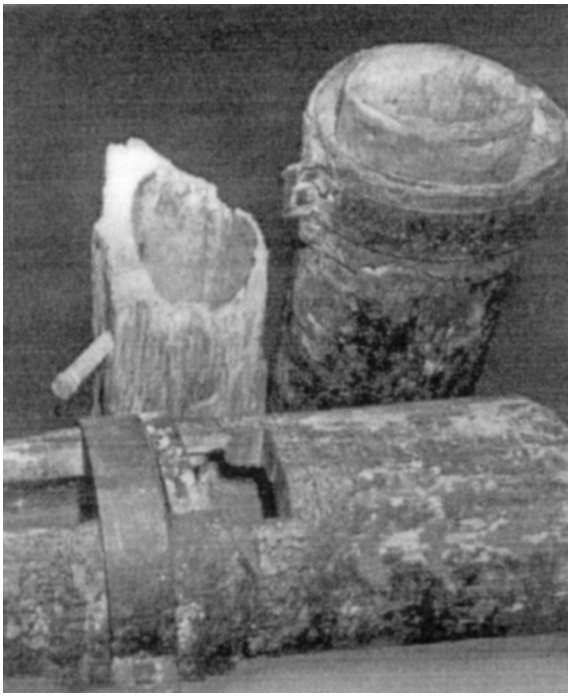

Рисунок 1.5
Деревянные трубы, используемые для транспортировки газа в Рочестер

на большие расстояния все еще не считалась экономически и технически оправданной. Кроме того, подаче газа на север и восток препятствовали железнодорожные и прочие компании, которые могли при этом потерять рынки других видов топлива.

Однако с появлением бесшовных стальных труб в 1920 г. транспортировка природного газа начала приносить прибыль. Прочность таких труб позволяла перемещать газ при более высоких давлениях и, следовательно, в больших количествах. Этому способствовало внедрение в практику в 1911 г. ацетилен-кислородной сварки, которую использовали для соединения стальных труб в длинные секции; кроме того, были разработаны методы измерения больших количеств газа.

Первые прочные стальные трубы, изготовленные методом электросварки, были произведены А. О. Смитом в 1927 г.

Возможность транспортировки природного газа на большие расстояния снизила его себестоимость и сделала его конкурентоспособным по отношению к прочим видам топлива, что привело к более широкому использованию газа для отопления помещений. Это, в свою очередь, способствовало сооружению дополнительных газопроводов, включая параллельные линии для более эффективного снабжения городов, где газ уже применялся. Чтобы избежать преждевременного истощения газовых месторождений и привести снабжение газом в соответствие с потребностями, были организованы интегрированные компании, которые одновременно занимались добычей, транспортировкой и распределением природного газа, обеспечивая его путь от устья скважины до потребителя. До 1925 г. наиболее дальние газопроводы имели длину примерно 300 миль (500 км), а к 1931 г. было построено несколько магистральных трубопроводов, транспортирующих газ на большие расстояния.

Строительство трубопроводов несколько приостановилось в 1930-х и 1940-х годах вследствие Великой депрессии 1929 г., а также ограничений на использование стали во время Второй мировой войны. В течение этого периода газовая промышленность США в основном развивалась за счет распространения синтетического (каменноугольного) газа, за исключением районов, прилегающих к крупным газовым месторождениям.

Во время Великой депрессии производили крайне мало оборудования для добычи и транспортировки газа, в результате чего большинство компаний по производству светильного газа оказались не в состоянии обеспечить огромные потребности в топливе, возникшие во время войны. В действие вводились заводы, ранее закрытые как устаревшие. Однако после окончания Второй мировой войны промышленность стала возрождаться, и начался быстрый подъем строительства магистральных трубопроводов. К 1950 г. сеть газопроводов превзошла по своим размерам сеть трубопроводов для транспортировки нефти.

Библиография

1. The Gas Range and How It Grew // Control Tower 2, 1960, 6—7, First Quarter.
2. *Harper R. B.* Outline History and Development of the Gas Industry. IGT Technology Information Center, 1942. [Неопубликованные заметки автора.]
3. *Hilt L.* Chronology of the National Gas Industry // American Gas Journal, 1950, 172, May, p. 29—36.
4. How Man Made a Substitute for the Sun // Baltimore Gas and Electric News, 1916, 5, June, p. 272.
5. *Hunt C.* Gas Lighting // Chemical Technology / Eds. Groves C. E., Thorp W., vol. III, p. 232, 300.
6. *Hunt C.* A History of the Introduction of Gas Lighting. London: W. King, 1907.
7. *Hyne Norman J.* Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling and Production. Tulsa, OK: PennWell Publishing Company, 1995.
8. *Norman O. E.* The Romance of the Gas Industry. Chicago: A. C. McClurg and Co., 1922.
9. Steps Taken in Third Era to Eliminate Gas Waste // Oil & Gas Journal, 1934, 33, August 27, p. 115—116.
10. The Story of Gas // A.G.A. Monthly, 1975, July/August ff.
11. *Stotz L., Jamison A.* History of the Gas Industry. New York: Stettinger Bros, 1938.
12. *Suttle R. R.* Chronology of the Southern Gas Industry 1802—1957 // Americal Gas Journal, 1953, 178, May, p. 29—33.
13. World of Scientific Discovery / Ed. Travers B. Detroit: Gale Research Inc., 1994.

Купить книгу