

Серия «ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ И НЕСПЕЦИАЛИСТОВ»

Природный газ

Под. ред. Ребекки Л. Басби



Издательство «Олимп-Бизнес»
Москва, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Благодарности	11
Введение	13
Глава 1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ИСТОРИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА	16
Состав природного газа	—
Происхождение природного газа	17
Образование	—
Миграция и накопление	21
Краткая история природного газа	22
Появление газовой промышленности	23
Выдерживание конкуренции	25
Переход от каменноугольного (синтетического) газа к природному	28
Расширение сети газопроводов	30
Библиография	33
Глава 2. РАЗВЕДКА: ПРИНЦИПЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ	34
Как природный газ собирается в подземных ловушках	—
Структурные ловушки	35
Стратиграфические ловушки	36
Комбинированные ловушки	—
Нефтеносный комплекс и продуктивный пояс	38

Методы разведки	38
Геологические методы	39
Геохимические методы	42
Геофизические методы	43
Моделирование	47
Поисковые скважины	48
Современные объекты газоразведки	—
Библиография	50
Глава 3. БУРЕНИЕ, ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА	51
Основные стадии бурения скважины и добычи газа	—
Техника бурения	52
Предварительные замечания	—
Ударно-канатное бурение	53
Роторное бурение	—
Обычные проблемы, возникающие при бурении	56
Технологии бурения	57
Оценка и заканчивание скважин	60
Геофизические исследования в скважинах — каротаж	61
Канатный каротаж	62
Другие исследования	63
Заканчивание скважины	64
Добыча природного газа	66
Интенсификация притока в скважину	—
Обработка природного газа	68
Газоподготовка	69
Переработка газа	70
Библиография	—
Глава 4. СЕТЬ ГАЗОПРОВОДОВ	71
Транспортировка природного газа	—
Краткая история газотранспортной промышленности	72

Проектирование и сооружение газопроводов	74
Проектирование	—
Строительство газопроводов	75
Эксплуатация газопроводов	77
Компрессорные станции	79
Измерение потока	82
Техническое обслуживание трубопроводов и техника безопасности	83
Чистка скребком	84
Обнаружение утечек	85
Ремонт труб	—
Библиография	86
Глава 5. ХРАНЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА	87
Как осуществляется хранение природного газа	—
Краткая история подземного хранения	88
Способы хранения газа	89
Потребление газа из подземных хранилищ	91
Библиография	93
Глава 6. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	94
Распределение природного газа	—
Краткая история газораспределительной промышленности	96
Прием поступающего газа	97
Городская газораспределительная станция	—
Дополнительные газы	99
Функционирование газораспределительной системы	100
Система трубопроводов и регулирование давления	—
Контроль за утечками газа	103
Строительство газораспределительных систем	104
Обслуживание газораспределительных систем	105

Другие виды деятельности в сфере газораспределения	107
Библиография	—

Глава 7. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

108

Потребление природного газа	—
Использование газа в быту	110
Применение газа в коммерческом секторе	115
Охлаждение с помощью природного газа	117
Осушение вентиляционного воздуха	120
Использование газа в промышленности	121
Производство стали и плавка металлов	123
Термообработка	124
Производство стекла	126
Промышленная сушка и отверждение	128
Котельное оборудование и производство пара	130
Пищевая промышленность	—
Совместное производство тепловой и электрической энергии (когенерация)	131
Применение газа в электроэнергетике	133
Газовые турбины	—
Совместное и повторное сжигание	134
Природный газ как транспортное топливо	136
Автотранспортные средства на природном газе	—
Библиография	139

Глава 8. ИСТОРИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

140

Введение	—
Начало государственного регулирования	141

Федеральное регулирование	144
Национальный акт об энергии	148
Дерегулирование транспортировки газа	151
Законодательство в области охраны природы	153
Закон об энергетической политике	155
Государственные комиссии по регулированию	156
Необычные ситуации	157
Заявки на изменение тарифов на коммунальные услуги	158
Другие повседневные виды деятельности	159
Муниципальное регулирование	161
Правила техники безопасности	—
Организации в газовой промышленности	163

Глава 9. МАРКЕТИНГ И СБЫТ ПРИРОДНОГО ГАЗА

165

Введение	—
Краткая история маркетинга газа	166
Маркетинг и транспортировка газа газотранспортными компаниями	167
Контракты на продажу газа	168
Рыночная и биржевая торговля	169
Рынок реального товара	170
Базисный рынок	171
Фьючерсные и опционные контракты	172
Маркетинг в газораспределительных компаниях	—
Газовый рынок сегодня	173
Библиография	175

Глава 10. ПЕРСПЕКТИВЫ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

176

Введение	—
----------------	---

Современные тенденции	177
Потребление газа	—
Добыча газа	178
Балансовые запасы газа	179
Перспективы спроса и предложения	181
Распределение спроса по секторам	183
Предложение и цена	185
Потенциальные запасы газа	187
Геологические вероятные запасы	—
Возможные и предполагаемые запасы	188
Общий потенциал	—
Библиография	189
Словарь терминов	190
Указатели	221

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 Хьюгтон-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 м³) в мире газовое месторождение — Уренгойское (Сибирь) — имеет биогенное происхождение, в нем газ заключен в ловушку под слоем вечной мерзлоты.

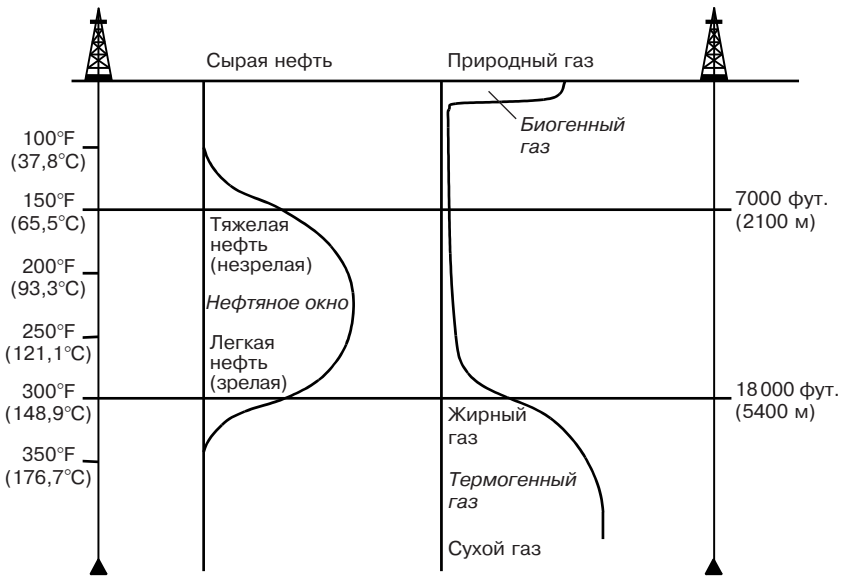


Рисунок 1.1

Образование нефти и газа

Источник: *Hune 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 местá 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