

005.6
549

М. А. БЕРЛИН,
В. Г. ГОРЕЧЕНКОВ,
Н. П. ВОЛКОВ

ПЕРЕРАБОТКА
НЕФТЯНЫХ
И ПРИРОДНЫХ
ГАЗОВ



МОСКВА ХИМИЯ 1981

6П7.43

Б49

УДК 665.632

Берлин М. А., Гореченков В. Г., Волков Н. П.

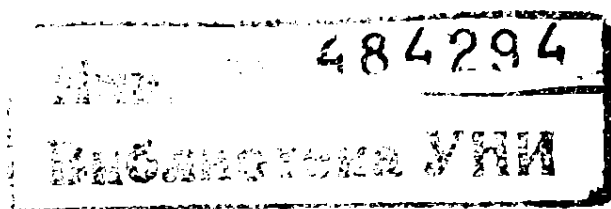
Переработка нефтяных и природных газов. — М.: Химия, 1981 г. — 472 с., ил.

В книге освещены теоретические основы процессов переработки природных и нефтяных газов и газового конденсата. Даны сведения об аппаратуре, технологических схемах и машинных методах проектирования газоперерабатывающих заводов.

Книга предназначена для инженеров — эксплуатационников и проектировщиков ГПЗ, может быть полезна студентам старших курсов химических и нефтяных вузов при курсовом и дипломном проектировании.

472 с., 248 рис., 54 табл., 278 библиографических ссылок

Рецензент: докт. техн. наук *А. Л. Халиф*



Б $\frac{31406-066}{050(01)-81}$ 66.81.2803020000

© Издательство «Химия», 1981 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За истекшие 10 лет в области переработки нефтяных и природных газов произошли большие изменения — построены крупные предприятия, расширена сырьевая база газоперерабатывающих заводов, получены новые теоретические и экспериментальные данные по технологии и процессам переработки газа и аппаратурному их оформлению; изменилась роль и значение газоперерабатывающих заводов. Поэтому авторы сочли возможным обобщить имеющиеся в этой области материалы, тем более, что после выхода в свет последних монографий по технологии и процессам переработки нефтяных и природных газов прошло много лет.

Введение написано к. т. н. В. Г. Гореченковым, раздел I — инж. Н. П. Волковым и к. т. н. М. А. Берлиным; раздел II — М. А. Берлиным и В. Г. Гореченковым с участием инж. О. М. Кудиновой; раздел III: главы 1 и 2 — В. Г. Гореченковым, глава 3 — М. А. Берлиным, глава 4 — В. Г. Гореченковым и М. А. Берлиным с участием к. т. н. С. П. Гнусовой, главы 5, 6 и 7 — М. А. Берлиным и Н. П. Волковым; раздел IV: главы 1 и 2 — М. А. Берлиным, глава 3 — М. А. Берлиным и д. т. н. Т. Е. Каневцом; раздел V: главы 1, 2, 3, 4 и 6 — М. А. Берлиным и Н. П. Волковым, глава 5 — В. Г. Гореченковым.

Авторы выражают признательность рецензенту д. т. н. А. Л. Халифу и сотрудникам института ВНИИгаз к. т. н. А. Д. Барсуку, к. т. н. Е. Н. Туревскому и к. т. н. В. П. Лакееву за ценные советы и критические замечания, которые были учтены при окончательном редактировании рукописи.

Авторы будут благодарны читателям за критические замечания и пожелания, направленные на улучшение книги.

Нефтяные и природные газы, добываемые из недр земли, представляют собой смесь углеводородов метанового ряда — метана, этана, пропана, бутанов и других. В некоторых газах наряду с углеводородами могут содержаться гелий, азот, диоксид углерода, сероводород и другие неуглеводородные компоненты. Число и содержание их изменяются в широких пределах. В общем объеме добываемого газа большая часть приходится на метан, который используют в основном как котельно-печное топливо. Ресурсов этана, пропана, бутанов и более тяжелых углеводородов — сырьевой основы промышленности органического синтеза — значительно меньше, чем метана. Поэтому в СССР и других странах большое значение придается рациональному использованию этих углеводородов.

Нефтяные и природные газы являются основными источниками получения одного из важнейших и перспективных видов химического и нефтехимического сырья — этана, из которого в США вырабатывают около 40% этилена, необходимого для производства пластических масс, оксида этилена, поверхностно-активных веществ и многих других химических продуктов и полупродуктов (по объему производства и структуре потребления этилена определяют уровень развития промышленности органического синтеза). В США в связи с высокой эффективностью этого сырья производство этана увеличивалось в конце 60-х годов на 24—31%. Впоследствии ежегодный прирост составлял от 5 до 25% [1—3]. В США и Канаде для транспортирования этана построены крупные трубопроводные системы. В 1977 г., например, было завершено строительство трубопровода протяженностью около 3 тыс. км, предназначенного для транспортирования этана, этилена, пропана и бутанов из западных районов Канады на восток страны и далее в США (производительность трубопровода 2,2—2,4 млн. т/г, рабочее давление 10 МПа) [4, 5].

В Западной Европе после открытия крупных месторождений природного газа повысился интерес к легкому пиролизному сырью, поскольку из этана можно вырабатывать до 25% этилена. Повышенный интерес к этому сырью объясняется тем, что использование этана в химической и нефтехимической промышленности позволяет улучшить структуру пиролизного сырья и обеспечить высокую сбалансированность производства и потребления этилена с одной стороны, бутадиена и других побочных продуктов пиролиза бензина, с другой стороны.

Использование этана позволяет существенно уменьшить капитальные вложения в производство этилена и сократить сроки строительства химических и нефтехимических производств с законченным технологическим циклом (этилен — полиэтилен, этилен — этиловый спирт и т. д.), так как при пиролизе этана обеспечивается минимальный выход побочных продуктов, для утилизации которых требуются большие капитальные вложения (выход этилена из этана 70%, из бензина 27%, из вакуумного газойля 15%).

Если этиленовые производства ориентировать только на бензин, то соотношение ресурсов этилена и пропилена составит примерно 1 : 0,5. А это значит, что для сбалансированного развития необходимо строго соблюдать такое же соотношение при наращивании мощностей по переработке этилена и пропилена. Такая синхронизация не всегда оказывается возможной. Особенно большие трудности в реализации сбалансированного развития возникают при строительстве этиленовых установок большой единичной мощности.

В ближайшие годы по мере углубления переработки нефти это соотношение будет уменьшаться в связи с увеличением ресурсов пропилена на нефтеперерабатывающих заводах (по содержанию пропилена составы газов пиролиза бензина и каталитического крекинга тяжелых нефтяных фракций примерно равноценны). Следовательно, в этих условиях при сохранении темпов развития этиленопотребляющих производств и отсутствии возможности (или необходимости) увеличения темпов развития пропиленопотребляющих производств пропилен каталитического крекинга будет использоваться в качестве топлива, а пиролизный пропилен, полученный из бензина, — для производства химической продукции. Такое положение вряд ли может быть признано целесообразным при дефиците прямогонных нефтяных фракций и наличии больших ресурсов этана. Поэтому в США, например, около 7 млн. т этилена получают из этана при общем объеме производства этого мономера 18 млн. т в 1980 г. [6] (1 т этана заменяет примерно 2 т бензина).

При отсутствии этана аналогичное положение с использованием ресурсов пропилена может сложиться и при увеличении темпов прироста производства этилена, которое может быть обусловлено ускоренным развитием производства изделий из полиэтилена (труб и др.) и необходимостью организации крупнотоннажного производства кормового белка из синтетического этилового спирта методом микробиологического синтеза. В перспективе этан может превратиться в ряде случаев из альтернативного в основное углеводородное сырье — ведутся разработки синтеза винилхлорида, ацетальдегида, этилового спирта и других продуктов непосредственно из этана, минуя дорогостоящую стадию производства этилена [7]. Таким образом, этан — это весьма ценное и высокоэффективное химическое и нефтехимическое сырье.

Для рационального использования углеводородного сырья нефтяной и природный газ с повышенным содержанием этана целесообразно транспортировать в районы потребления так, чтобы по мере необходимости этот газ можно было использовать для производства этана. Транспортная схема должна обеспечивать возможность подачи этансодержащего газа до определенных пунктов в чистом виде — без смешения с метановым газом. Дополнительные капитальные вложения, которые могут потребоваться при отдельном транспортировании метанового и этансодержащего газов, окупятся, так как в этом случае можно будет получить дополнительные ресурсы этана и использовать их для производства этилена вместо дорогостоящих углеводородных фракций — продуктов переработки мазута и угля (затраты на производство 3—4 млн. т в год бензиновых фракций из угля соизмеримы с капитальными затратами, необходимыми для строительства крупных газопроводов). В связи с высокой эффективностью газового сырья может оказаться целесообразным извлекать этан из природных и нефтяных газов и закачивать в одно или несколько газовых или газоконденсатных месторождений, которые в связи с истощением собственных запасов газа могут быть использованы в качестве подземных хранилищ. При наличии такой системы появятся дополнительные возможности для более гибкого использования минерально-сырьевых ресурсов нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений (в этансодержащих природных газах на долю этана приходится около 55% от всех потенциальных запасов углеводородов — от этана до бутанов включительно).

На ГПЗ из нефтяных и природных газов получают большое количество пропана — в США около 65% пропана вырабатывают на газоперерабатывающих заводах [8]. В чистом виде или в смеси с бутаном пропан используют в качестве нефтехимического (пиrolизного) сырья, коммунально-бытового и моторного топлива, для огневой культивации почвы, сушки сельскохозяйственной продукции и других целей. Кроме этана и пропана, из нефтяных и природных газов извлекают *n*-бутан, изобутан, *n*-пентан и изопентан, которые используют для производства синтетического каучука, коммунально-бытового и моторного топлива.

Высокая эффективность использования этана, пропана и других гомологов метана длительное время стимулирует развитие добычи и производства этого сырья в США, Канаде и других странах. Ниже приведены объемы производства этана, пропана и других углеводородов на газоперерабатывающих заводах США и Канады (по состоянию на 1 января 1979 г.) [9]:

	США	Канада
Число заводов	762	225
Мощность по газу, млрд. м ³ /г		
проектная	719,0	145,5
фактическая	463,2	90,7

Продукция, тыс. м ³ /г		
этан	9 712	503
пропан	14 944	2 789
изобутан	2 063	343
<i>n</i> -бутан	5 920	1 437
смесь фракций	1 780	670
смесь газового бензина и сжи- женных газов	50 503	1 789
дебутанизированный бензин	7 017	3 968
другие продукты	7 810	1 079
<hr/>		
Всего	99 749	12 578

Мировая практика показывает, что при наличии больших запасов природных и нефтяных газов на базе этого сырья могут быть организованы крупнотоннажные и высокорентабельные производства этана, сжиженных газов (пропана, бутанов) и других видов углеводородного сырья и моторного топлива. Объемы производства этой продукции могут быть соизмеримы с ресурсами сырья и моторного топлива, получаемыми в результате углубления переработки нефти. Учитывая высокую эффективность газового сырья и повышенный интерес к нему на мировом рынке, многие нефтедобывающие страны осуществляют строительство, расширение и реконструкцию газоперерабатывающих заводов.

В ближайшие годы страны Ближнего Востока (Иран, Саудовская Аравия, Бахрейн и др.) предполагают завершить программу по сбору, переработке и транспортированию нефтяного газа общей стоимостью около 33 млрд. долл. Считают, что это позволит экспортировать около 46 млн. т в год сжиженных нефтяных газов [10]. Одним из элементов программы является строительство крупных мощностей по производству этилена, полиэтилена, стирола и другой нефтехимической продукции — Саудовская Аравия имеет в виду довести производство этой продукции до 8% мирового объема [11]. В 1978 г. в капиталистических странах (без США) на строительство газоперерабатывающих заводов затрачено 3,2 млрд. долл., что составляет около 50% к объему капитальных вложений в нефтеперерабатывающую промышленность [12].

В перспективе актуальность комплексного подхода к использованию ресурсов нефтяных и природных газов возрастет, так как увеличение производства моторных топлив и нефтехимического сырья будет обеспечиваться в основном за счет увеличения мощностей вторичных процессов переработки нефти (каталитического крекинга и др.) и ввода мощностей по переработке угля, для строительства которых требуются большие капитальные вложения. Для организации производства 3—4 млн. т в год моторного топлива из угля необходимы примерно такие же капитальные вложения, какие требуются для обеспечения добычи 45 млрд. м³ в год природного газа и производства из этого сырья 5,5 млн. т этана, сжиженных газов и другой продукции. Поэтому в США, например, где имеются крупные запасы различных минерально-

сырьевых ресурсов, нефтяной и природный газ длительное время был и остается одним из основных источников производства легкого углеводородного сырья и других сырьевых продуктов.

Многие страны мира из-за отсутствия или ограниченных ресурсов этана и сжиженных газов (пропана и др.) стоят перед проблемой перевода пиролизных агрегатов нефтехимических производств на переработку тяжелых нефтяных фракций. Это значительно увеличит капитальные вложения и может вызвать снижение темпов развития нефтехимической промышленности.

Природный и нефтяной газ — это не только топливо и сырье для производства этана, пропана и других гомологов метана. При очистке и переработке газа получают большие количества дешевой серы, гелия и других неорганических продуктов, необходимых для развития ряда отраслей народного хозяйства. Канада благодаря наличию крупных мощностей по переработке сероводородсодержащих природных газов занимает среди капиталистических стран второе место по производству серы [13]. По производству гелия — одного из важнейших и перспективных продуктов — первое место занимают США [14]. Структура потребления гелия характеризуется следующими данными (в % об.) [15]: ракетно-космическая техника — 19; контролируемые атмосферы — 12; искусственные дыхательные смеси — 6; исследования — 15; сварка в атмосфере инертного газа — 18; криогенная техника — 6; теплопередача — 7; хроматография — 4; другие области — 13. В перспективе гелий предполагают широко использовать в атомной энергетике, криогенной электротехнике и других областях [16].

Производство гелия в США осуществляется на 12 заводах. Объем производства — около 135 млн. м³ в год. Потребление гелия: в 1980 г. — 35 млн. м³, в 1999 г. прогноз — 60 млн. м³ [17]. Согласно долгосрочной правительственной программе весь избыток получаемого на заводах гелия закачивается в специальные подземные хранилища с тем, чтобы в будущем, когда запасы гелиеносных природных и нефтяных газов истощатся, этот гелий можно было использовать. Такие мероприятия оправданы, так как получение гелия из воздуха — единственного альтернативного сырьевого источника — во много раз дороже [18]. В связи с этим при обсуждении в Конгрессе США гелиевого закона в 1980 г. были внесены предложения об увеличении государственных запасов гелия с 1,1 млрд. м³ в 1980 г. до 2,4 млрд. м³ к концу 1990-х годов [17].

Все это свидетельствует о том, что минерально-сырьевые ресурсы нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений являются крупным национальным богатством, рациональное использование которых зависит в частности от наличия мощностей по переработке нефтяных и природных газов.

В СССР промышленность по переработке газа начала развиваться особенно быстрыми темпами после открытия и освоения нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений в Среднем

Поволжье, на Урале, в Западной Сибири и Средней Азии. За рубежом нефтяной и природный газ начали перерабатывать в 20-х годах нашего столетия. Наиболее широкое развитие это направление получило в США, Канаде и других странах. Ниже приведены основные этапы развития переработки газа в США.

Первый этап (20-е — 40-е годы) назван «эрой газового бензина», так как газоперерабатывающие заводы (в то время их называли газобензиновыми) строили с целью извлечения газового бензина и подготовки газа к транспортированию. На ГПЗ из газа удалялись механические примеси и свободная влага (вода и углеводородный конденсат), производились осушка газа до заданной точки росы и извлечение из газа газового бензина (он состоял в основном из пентанов и более тяжелых углеводородов). Осушка от воды и отбензинивание газа осуществляются с целью предупреждения образования кристаллогидратов (соединений воды и углеводородов) и конденсации тяжелых углеводородов в процессе транспортирования газа по газопроводам (газ быстро охлаждается в газопроводе до температуры грунта).

При наличии кристаллогидратов и углеводородного конденсата нормальная эксплуатация газопровода может быть нарушена или сильно затруднена, так как кристаллогидраты закупоривают рабочее пространство газопровода, а углеводородный конденсат скапливается в «низких» местах трассы, в результате чего увеличивается гидравлическое сопротивление системы. При этом возникают пульсации давления, которые могут привести к нарушению режима эксплуатации газопровода и возникновению аварийной обстановки.

Таким образом, на ГПЗ готовили газ к транспортированию и попутно получали газовый бензин, который использовали в качестве компонента моторного топлива. В этот период на заводах преобладали компрессионные методы осушки и отбензинивания газа — газ компримировали до определенного давления и охлаждали водой, в результате чего происходила конденсация паров воды и тяжелых углеводородов (газового бензина).

Второй этап (50-е — 60-е годы) назван «эрой сжиженных газов», так как газоперерабатывающие заводы стали строить в основном с целью извлечения сжиженных газов (пропана и бутанов), которые использовали в качестве коммунально-бытового и моторного топлива и нефтехимического сырья. При этом одновременно с пропаном и бутаном из газа извлекали и газовый бензин.

В связи с необходимостью извлечения сжиженных газов схемы переработки нефтяного и природного газа усложнились: вначале были применены абсорбционные схемы с водяным (воздушным) охлаждением потоков, в дальнейшем стали использовать процесс абсорбции при низких температурах и высоких давлениях (масляная абсорбция уступила место более экономичному и более эффективному методу разделения газа — процессу низкотемпе-

ратурной абсорбции). Извлечение пропана составляет на таких заводах 80—85%. При этом на ГПЗ по-прежнему производится подготовка газа к транспортированию, однако эта технологическая операция осуществляется теперь уже в связи с необходимостью глубокой переработки газа. На некоторых ГПЗ наряду с низкотемпературной абсорбцией (НТА) начали применять схемы низкотемпературной конденсации (НТК).

Третий этап (начало его относят к середине 60-х годов) назван «эрой этана», так как на заводах наряду с традиционными продуктами стали получать товарный этан (этановую фракцию). Для извлечения этана используют в основном схемы НТА и НТК с различными холодильными циклами и турбодетандерными расширительными машинами. На современных ГПЗ исходный газ охлаждают до $-80 \div -100$ °С, а извлечение этана может достигать 80—90% от его потенциального содержания.

В США на долю НТА и НТК приходится около 65% всех мощностей по переработке газа, т. е. процессы низкотемпературной абсорбции и низкотемпературной конденсации стали основными технологическими процессами. Однако число установок, работающих по схеме НТА, постоянно уменьшается, а число установок НТК с турбодетандерными расширительными машинами возрастает (за 1978 г. число их увеличилось с 96 до 150) [19]. Использование прогрессивных технологических процессов позволило стабилизировать производство сжиженных газов в стране, несмотря на ухудшение качества сырья и снижение объема переработки газа с 581 млрд. м³ в 1970 г. до 463 млрд. м³ в 1979 г. При этом объем переработки нефтяного газа, имеющего в основном высокое содержание пропана и более тяжелых углеводородов, уменьшился соответственно со 174 до 102 млрд. м³. За истекшие 10 лет объем переработки нефтяного и природного газа находился на уровне 80—85% от товарной его добычи (на ГПЗ перерабатывают 92% добываемого нефтяного газа) [19].

На 1 января 1979 г. в США было 762 газоперерабатывающих завода общей мощностью по газу 719 млрд. м³ в год [9]. При средней мощности завода около 900 млн. м³ в год более 550 ГПЗ имели производительность от 3 до 500 млн. м³ в год. Около 200 заводов имели мощность свыше 500 млн. м³ в год [20]. Максимальная мощность ГПЗ (в млрд. м³ в год): в США — 25, в Саудовской Аравии — 15, в СССР — 45 [21].

В последние годы наблюдается тенденция к увеличению единичных мощностей технологических линий и газоперерабатывающих заводов. На новых ГПЗ строят комбинированные установки, на которых совмещается несколько технологических процессов, необходимых для переработки газа (есть заводы, где все основные технологические процессы совмещены в одном блоке). При наличии высокопроизводительного компрессорного, теплообменного и другого оборудования заводы проектируют так, что каждая технологическая линия имеет один компрессор, один теплообменник,

один турбодетандер и т. д. В США и Канаде мощность одной технологической линии по газу составляет 4 млрд. м³ в год [14]. При таком подходе к проектированию уменьшаются капитальные вложения, упрощается обслуживание и повышается надежность работы газоперерабатывающих заводов.

Укрупнение мощностей ГПЗ — это основа ускоренного развития газоперерабатывающей промышленности. Однако решение этого вопроса обуславливается не только наличием высокопроизводительного оборудования, но и условиями, при которых можно было бы длительное время обеспечивать заводы сырьевыми ресурсами. Для этого необходимо разработать систему резервирования сырьевой базы ГПЗ. Под резервированием понимается комплекс мероприятий, начиная от рационального использования запасов газа и размещения ГПЗ и кончая разработкой схем транспортирования и переработки газа. При этом большое значение имеет разработка мер по обеспечению совместного транспортирования газа и углеводородного конденсата, а также дифференцированный подход к глубине извлечения углеводородов в районах добычи газа и переработки его на ГПЗ, расположенных по трассе газопроводов (в этом случае завод будет работать на транзитном газе; в Канаде, например, более 60% такого газа поступает на заводы с целью доизвлечения соответствующих углеводородов). Разработка системы резервирования — это многоплановая задача, решать ее необходимо комплексно, исходя из условий рационального использования ресурсов нефтяных и природных газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oil a. Gas J., 1977, vol. 75, № 5, p. 120.
2. Oil a. Gas J., 1979, vol. 77, № 5, p. 118—125.
3. Oil a. Gas J., 1977, vol. 75, № 28, p. 61.
4. Oil a. Gas J. — Ibid., p. 163—167.
5. Oilweek, 1977, vol. 28, № 40, p. 10—11.
6. Ghem. Eng., 1977, vol. 84, p. 63—65.
7. Лазарева Е. В., Цыркин Е. Б. Повышение эффективности и селективности нефтехимических процессов. Науч.-техн. обзор. М., ЦНИИТЭнефтехим, 1977. 53 с.
8. Oil a. Gas J., 1979, vol. 77, № 26, p. 70—76.
9. Oil a. Gas J. — Ibid., p. 92.
10. Oil a. Gas J., 1978, vol. 76, № 48, p. 26—27.
11. Chem. Eng., 1978, vol. 85, № 9, p. 15—16.
12. Переработка углеводородов, 1977, № 9, с. 9—16.
13. Перспективы производства и потребления серы в зарубежных странах. Науч.-техн. обзор. М., НИИТЭхим, 1980. 32 с.
14. Берлин М. А., Коробко В. Д. Основное технологическое оборудование зарубежных газоперерабатывающих заводов. М., Химия, 1977. 248 с.
15. Clarke T. G. — In: Minerals Yearbook, 1975, vol. 1, p. 713. Washington, 1978.
16. Андреев И. Л. — Вестн. АН СССР, 1980, № 9, с. 27—30.
17. Chem. Eng. News, 1980, vol. 58, № 23, p. 11—12.
18. Бюл. иностр. коммерч. информ. ВНИИКИ МВТ СССР, 1980, № 14, с. 7.
19. Oil a. Gas J., 1976, vol. 74, № 27, p. 76.
20. Oil a. Gas J., 1979, vol. 77, № 26 p. 65—69, 92—128.
21. Вышеславцев Ю. Ф. — Газ. пром., 1980, № 2, с. 11.