

УДК [6.661.71+665.65](075.8)

ББК 665.62

Т38

Рецензенты: профессор, д. т. н., А. Ф. Вильданов; академик РАН, д. т. н., Кемалов А. Ф.

Т38 **Ахмедьянова Р. А.** Технологические процессы переработки и использования природного газа / Р. А. Ахмедьянова, А. П. Рахматуллина, Л. М. Шайхутдинова. — СПб. : ЦОП «Профессия», 2016. — 368 с., ил.

ISBN 978-5-91884-087-0

Дано описание технологий переработки и использования природных газов. Рассмотрено сырье газоперерабатывающих заводов, вопросы первичной переработки углеводородных газов, в том числе выделение гелия, экологические проблемы добычи и сжигания природного газа, а также газохимические технологии.

Предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело», а также бакалавров и магистров по направлению подготовки «Химическая технология» по программам подготовки: «Химическая технология синтетического каучука», «Химия и технология мономеров», «Газохимические технологии производства сырья для полимеров», «Экономические аспекты химической технологии», «Современные технологии полимерной промышленности» и «Проектирование технологии синтетического каучука».

Представляет интерес для специалистов, работающих в области переработки углеводородного сырья.

УДК [6.661.71+665.65](075.8)

ББК 665.62

Издание подготовлено на кафедре Технологии синтетического каучука ФГБОУ ВПО Казанского национального исследовательского технологического университета.

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-91884-087-0

© Р. А. Ахмедьянова, А. П. Рахматуллина,
Л. М. Шайхутдинова, 2016

© ЦОП «Профессия», 2016

© Оформление: ЦОП «Профессия», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	9
Введение	12
Глава 1. СЫРЬЕ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ	14
1.1. Природные газы	16
1.2. Газовые конденсаты.....	22
<i>Контрольные вопросы к главе 1</i>	30
Глава 2. ПЕРВИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ	31
2.1. Очистка газов от механических примесей.....	31
2.1.1. Методы сухой очистки	32
2.2.2. Методы мокрой очистки	40
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.1</i>	42
2.2. Очистка природных газов от химических примесей.....	42
2.2.1. Очистка газов от диоксида углерода	47
2.2.2. Очистка газов от серосодержащих примесей	52
2.2.2.1. Очистка газов от сероводорода	54

2.2.2.2. Очистка газов от меркаптанов.....	89
2.2.2.3. Основы технологии производства газовой серы	103
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.2</i>	110
2.3. Осушка природных углеводородных газов	111
2.3.1. Влагосодержание природного газа (общие положения).....	111
2.3.2. Абсорбционная осушка газов	113
2.3.3. Адсорбционная осушка газов	119
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.3</i>	121
2.4. Выделение жидких углеводородов из природных газов (отбензинивание)	122
2.4.1. Классификация методов выделения жидких углеводородов ...	122
2.4.2. Метод низкотемпературной сепарации	123
2.4.3. Метод низкотемпературной конденсации	125
2.4.4. Абсорбционный метод извлечения углеводородов C ₂ -C ₅	129
2.4.5. Адсорбционный метод извлечения углеводородов C ₂ -C ₅	134
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.4</i>	135
2.5. Переработка широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ)...	135
2.5.1. Показатели качества ШФЛУ	136
2.5.2. Установки фракционирования газов.....	138
2.5.2.1. Абсорбционно-газофракционирующие установки.....	138
2.5.2.2. Центральные газифракционирующие установки.....	140
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.5</i>	142
2.6. Стабилизация газовых конденсатов	142
2.6.1. Технология стабилизации газового конденсата	143
2.6.1.1. Многоступенчатая дегазация	143
2.6.1.2. Стабилизация в ректификационных колоннах.....	144
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.6</i>	148
2.7. Гелий, свойства, применение и производство	148
2.7.1. Свойства гелия	148

2.7.2. Области применения гелия.....	150
2.7.3. Сырьевая база гелия в мире	154
2.7.4. Производство гелия.....	160
2.7.5. Технологии производства гелия.....	162
2.7.5.1. Криогенные методы получения гелия	163
2.7.5.1.1. Получение гелиевого концентрата	163
2.7.5.1.2. Тонкая очистка гелия (концентрирование гелия)	167
2.7.5.2. Абсорбционный способ.....	172
2.7.5.3. Способ гидратообразования.....	172
2.7.5.4. Мембранный способ.....	172
2.7.6. Ожижение гелия	175
2.7.7. Промышленное производство гелия в России	176
<i>Контрольные вопросы к разделу 2.7</i>	176
2.8. Поточные схемы газоперерабатывающего и гелиевого заводов.....	177

Глава 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ И СЖИГАНИЯ

ПОПУТНОГО ГАЗА	180
3.1. Экологические проблемы добычи природного газа	181
3.2. Экологические проблемы сжигания природного газа	182
3.2.1. Использование природного газа в качестве топлива	182
3.2.2. Сжигание попутного нефтяного газа	184
3.2.3. Последствия сжигания попутного нефтяного газа для природной среды и населения.....	184
3.2.4. Влияние природного газа на человека	186
<i>Контрольные вопросы к главе 3</i>	187

Глава 4. ГАЗОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ

ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ.....	188
4.1. Синтез-газ, получение и применение	188

4.1.1. Методы получения синтез-газа	188
4.1.2. Получение жидких углеводородов на основе синтез-газа (синтез Фишера-Тропша)	194
4.1.3. Современные технологии <i>GTL</i>	202
4.1.4. Синтез метанола и продуктов на его основе	207
4.1.4.1. Синтез метанола	208
4.1.4.2. Синтез продуктов на основе метанола	224
4.1.4.2.1. Получение формальдегида из метанола	224
4.1.4.2.2. Получение метил- <i>трет</i> -бутилового эфира	226
4.1.4.2.3. Получение уксусной кислоты из метанола	228
4.1.4.2.4. Получение диметилового эфира из метанола	232
4.1.5. Гидроформилирование олефинов (процесс оксосинтеза). Производство альдегидов и спиртов	234
4.1.6. Производство аммиака и карбамида	243
4.1.7. Превращение метанола в олефины и синтетические углеводороды	253
4.1.7.1. Процесс превращения метанола в олефины	254
4.1.7.2. Процесс получения бензина из метанола	256
<i>Контрольные вопросы к разделу 4.1</i>	258
4.2. Химическая переработка низших парафиновых углеводородов	258
4.2.1. Пиролиз углеводородов	258
4.2.1.1. Физико-химические основы пиролиза	263
4.2.1.2. Технологические основы пиролиза	266
4.2.1.3. Особенности пиролиза низших (газообразных) парафиновых углеводородов	270
4.2.1.3.1. Пиролиз этана	272
4.2.1.3.2. Пиролиз широкой фракции легких углеводородов и сжиженных газов	274
4.2.1.4. Утилизация тепла в закалочно-испарительных аппаратах	276
4.2.1.5. Совершенствование процесса пиролиза	280

4.2.1.6. Жидкие продукты пиролиза и их переработка	285
4.2.1.7. Примеси в сырье пиролиза и их влияние на процесс	288
4.2.2. Пропилен	290
4.2.2.1. Производство пропилена	290
4.2.2.2. Производство пропилена дегидрированием пропана	292
4.2.2.2.1. Процесс ОАО НИИ «Ярсинтез»	293
4.2.2.2.2. Процесс « <i>Qatofin</i> »	294
4.2.2.2.3. Процесс <i>STAR (Steam Active Reforming)</i> , <i>Philips Petroleum</i> ...	295
4.2.2.2.4. Процесс « <i>Oleflex</i> »	296
4.2.3. Бутадиен-1,3	298
4.2.3.1. Исторический очерк промышленного производства бутадиена в СССР и России	298
4.2.3.2. Методы производства бутадиена-1,3	301
4.2.3.2.1. Производство бутадиена-1,3 двухстадийным дегидрированием <i>n</i> -бутана	301
4.2.3.2.1.1. Дегидрирование <i>n</i> -бутана в <i>n</i> -бутены	303
4.2.3.2.1.2. Дегидрирование <i>n</i> -бутенов в бутадиен-1,3	306
4.2.3.2.2. Одностадийное дегидрирование <i>n</i> -бутана в бутадиен-1,3 по методу Гудри	309
4.2.3.2.3. Производство бутадиена-1,3 окислительным дегидрированием <i>n</i> -бутенов	312
4.2.3.2.4. Выделение бутадиена-1,3 из фракции углеводородов C_4 пиролиза	318
4.2.4. Изобутилен	324
4.2.4.1. Производство <i>изобутилена</i> дегидрированием <i>изобутана</i>	325
4.2.4.2. Выделение <i>изобутилена</i> из фракций углеводородов C_4	326
4.2.4.2.1. Выделение <i>изобутилена</i> с использованием серной кислоты	327
4.2.4.2.2. Выделение <i>изобутилена</i> из фракции углеводородов C_4 на ионообменных катализаторах через триметилкарбинол	328
4.2.4.2.3. Выделение <i>изобутилена</i> взаимодействием со спиртами	332

4.2.4.2.4. Скелетная изомеризация <i>n</i> -бутиленов	336
4.2.4.2.5. Получение <i>изобутилена</i> окислением <i>изобутана</i>	338
4.2.5. Изопрен	338
4.2.5.1. Получения <i>изопрена</i> дегидрированием <i>изопентана</i> и <i>изоамиленов</i>	340
4.2.5.2. Синтез <i>изопрена</i> из <i>изобутилена</i> и формальдегида	343
4.2.5.2.1. Двухстадийный синтез <i>изопрена</i> из <i>изобутилена</i> и формальдегида через 4,4-диметилдиоксан-1,3.....	343
4.2.5.2.2. Получение <i>изопрена</i> из <i>изобутилена</i> и формальдегида через 3-метилбутандиол-1,3.....	351
4.2.5.2.3. Получение <i>изопрена</i> <i>изобутенолизом</i> диметилдиоксана.....	352
4.2.5.2.4. «Одностадийный» синтез <i>изопрена</i>	353
4.2.5.2.5. Одностадийный синтез <i>изопрена</i> из 1,3-диоксолана и триметилкарбинола	355
4.2.5.2.6. Одностадийный синтез <i>изопрена</i> из 1,3,5-триоксана и триметилкарбинола	356
4.2.5.3. Синтез <i>изопрена</i> из <i>изопентана</i> методом окисления	358
<i>Контрольные вопросы к разделу 4.2</i>	360
Список рекомендуемой литературы.....	362