

УДК [661.974+661.721.1]
ББК 35.10-9
Р27

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Казанского национального исследовательского технологического университета*

Рецензенты:

*канд. хим. наук, доц. каф. физ. химии химического института
им. А.М. Бутлерова Казанского федерального университета С. Р. Егорова
ведущий науч. сотр. лаборатории металлоорганических и координационных
соединений ФГБУН ИОФХ им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН
д-р хим. наук Д. Г. Яхваров*

Р27 **Рахматуллина А. П.**
Химическая технология переработки газового сырья. Химия синтез-газа : учебное пособие / А. П. Рахматуллина, Д. В. Бескровный; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. – 160 с.

ISBN 978-5-7882-2149-6

Приведены основные теоретические положения, лежащие в основе реакций в области газохимии, и промышленные технологии получения основных типов химических продуктов на основе синтез-газа и метанола.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» по программе подготовки «Газохимические технологии производства сырья для полимеров», а также для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профиль «Эксплуатация, обслуживание технологических объектов нефтегазового производства».

Подготовлено на кафедре технологии синтетического каучука.

**УДК [661.974+661.721.1]
ББК 35.10-9**

ISBN 978-5-7882-2149-6 © Рахматуллина А. П., Бескровный Д. В., 2017
© Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ В СОВРЕМЕННУЮ ПРОМЫШЛЕННУЮ ХИМИЮ НЕФТИ И ГАЗА	8
1.1. Источники углеводородного сырья	9
1.2. Продукты на основе нефтяного сырья	12
1.3. Химические продукты на основе угля	13
1.4. Химические продукты на основе синтез-газа	13
1.5. Перспективные процессы переработки синтез-газа	16
1.6. Классификация реакций синтез-газа	19
Глава 2. МЕХАНИЗМЫ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗ-ГАЗА	21
2.1. Особенности каталитических реакций	21
2.2. Взаимодействия «металл - лиганд»	21
2.3. Активация молекул	23
2.4. Окислительное присоединение и восстановительное элиминирование	26
2.5. Пути гидрирования монооксида углерода	29
Глава 3. СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ СО И Н ₂	31
3.1. Метанирование	31
3.2. Синтез Фишера-Тропша	32
3.2.1. Синтез низших олефинов модифицированным процессом Фишера-Тропша	36
3.2.2. Синтез углеводородов из метанола	38
Глава 4. ГИДРОФОРМИЛИРОВАНИЕ ОЛЕФИНОВ	43
4.1. Механизм реакций	45
4.2. Асимметрическое гидроформилирование	47
Глава 5. МЕТАНОЛ – ВАЖНЕЙШИЙ ПО ЗНАЧЕНИЮ И МАСШТАБАМ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ	50
5.1. Место и роль химической и нефтехимической промышленности в экономике России, анализ состояния отрасли	50
5.2. Метанол как важнейший по значению и масштабам производства продукт, выпускаемый химической промышленностью. Основные направления использования	

метанола	51
5.3. Концепция метанольной экономики. Основные аспекты. Перспективные направления развития	55
Глава 6. ПРОИЗВОДСТВО МЕТАНОЛА ИЗ РАЗЛИЧНОГО СЫРЬЯ – ОТ СИНТЕЗ-ГАЗА ДО УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	63
6.1. Свойства метанола и его водных растворов	63
6.2. История открытия и изучения метанола	66
6.3. Получение метанола из горючих ископаемых	69
6.3.1. Производство метанола через синтез-газ	69
6.3.2. Альтернативный способ превращения синтез-газа в метанол: получение метанола через метилформиат	78
6.3.3. Получение метанола из метана, минуя синтез-газ	80
6.4. Перспектива применения углекислого газа из промышленных отходящих газов и утилизации углекислого газа из атмосферы для синтеза метанола и получения синтетических углеводов	89
6.4.1. Получение метанола из углекислого газа из атмосферы	89
6.4.2. Применение углекислого газа из промышленных отходящих газов для производства метанола	93
6.4.3. Утилизация углекислого газа из атмосферы	95
Глава 7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАНОЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	100
7.1. Получение формальдегида из метанола	103
7.2. Получение метилтретбутилового эфира	106
7.3. Получение уксусной кислоты из метанола	107
7.4. Получение этанола гомологизацией метанола	110
7.5. Превращение метанола в олефины и синтетические углеводороды	111
7.5.1. Процесс превращения метанола в олефины ($M \rightarrow O$)	112
7.5.2. Процесс получения бензина из метанола ($M \rightarrow B$)	115
7.6. Получение белков на основе метанола. Возможности применения метанола в сельском хозяйстве	118
Глава 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА	121
8.1. Использование метанола и диметилового эфира в качестве транспортного топлива	121
8.1.1. История применения метанола в качестве топлива	122

8.1.2. Метанол как топливо в двигателях внутреннего сгорания	127
8.1.3. Метанол и диметиловый эфир в качестве заменителей дизельных топлив в двигателях внутреннего сгорания	129
8.2. Биодизельное топливо	133
8.3. Новые транспортные средства, работающие на метаноле	134
8.4. Вопросы безопасности при использовании метанола	135
8.5. Экологический аспект производства и применения метанола	141
8.5.1. Метанол и окружающая среда	141
8.5.2. Сравнительный анализ загрязнения воздуха выбросами от транспортных средств, работающих на метаноле и традиционных видах топлива	143
8.5.3. Метанол и проблемы изменения климата	145
Глава 9. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ	148
9.1. Основные направления развития экономики на современном этапе	148
9.2. Метанольная экономика как альтернатива водородной экономике. Перспективные направления развития	152
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	157