

У. Чаудури

# НЕФТЕХИМИЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА

ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ИНТЕГРАЦИЯ



Издательство  
**ПРОФЕССИЯ**

У. Р. Чаудури

# НЕФТЕХИМИЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА

Процессы, технологии,  
интеграция

*Перевод с английского языка  
под редакцией И. А. Голубевой, О. Ф. Глаголевой*

издательство  
**ПРОФЕССИЯ**

Санкт-Петербург  
2014

 ЦЕНТР  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ  
**ПРОФЕССИЯ**

УДК 665.63  
ББК 35.514  
Ч12

Утам Р. Чаудури.

Ч12 **Нефтехимия и нефтепереработка. Процессы, технологии, интеграция :** пер. с англ. яз. под ред. И. А. Голубевой, О. Ф. Глаголевой. — СПб. : ЦОП «Профессия», 2014. — 432 с., ил.

ISBN 978-5-91884-061-0

ISBN 978-1-4398-5160-9 (англ.)

Рассмотрены основные процессы нефтепереработки и нефтехимии, современные технологические схемы и оборудование, средства управления процессами. В отдельных главах приведены сведения об объектах общезаводского хозяйства, даны расчеты теплообменного оборудования и трубчатых печей, балансов отдельных процессов. Подробно описаны средства измерения и системы управления на НПЗ, уделено внимание их аппаратурному обеспечению, схемам, программам. Наличие конкретных примеров, задач с решениями и контрольных вопросов позволяет использовать книгу в качестве учебного пособия для подготовки специалистов профильных производств.

Издание предназначено для инженерно-технических работников предприятий нефтепереработки и нефтехимии, проектировщиков.

УДК 665.63  
ББК 35.514

*All Rights Reserved. Authorized translation from English language edition published by CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group LLC.*

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 978-1-4398-5160-9 (англ.)  
ISBN 978-5-91884-061-0

© 2011 by Taylor & Francis Group, LLC  
© ЦОП «Профессия», 2014

Перевод, оформление: ЦОП «Профессия», 2014

# Оглавление

Предисловие .....	15
Об авторе.....	16
Введение.....	16
Предисловие к русскому изданию.....	17
<b>Глава 1. Нефть .....</b>	<b>19</b>
1.1. Состав нефти .....	19
1.1.1. Группы углеводородов.....	19
1.1.1.1. Углеводороды смешанного строения.....	22
1.1.1.2. Гетероатомные соединения.....	23
1.2. Физические свойства нефти.....	24
1.3. Происхождение нефти.....	26
1.4. Методы разведки.....	28
1.4.1. Гравиметрия.....	29
1.4.2. Магнитометрия.....	29
1.4.3. Сейсморазведка.....	30
1.4.4. Дистанционное зондирование.....	30
1.4.5. Геохимические методы.....	30
1.4.6. Стратиграфия.....	31
1.5. Оценка запасов.....	31
1.5.1. Влияние давления.....	32
1.5.2. Связанная вода.....	33
1.5.3. Влияние температуры.....	33
1.5.4. Влияние вязкости.....	33
1.6. Разбуривание нефтяной залежи.....	34
1.7. Геофизические исследования.....	36
1.8. Методы добычи нефти.....	37
1.9. Подготовка нефти и ее хранение.....	40
1.10. Транспортировка и замер нефти.....	41
1.11. Газовые гидраты.....	42
1.11.1. Добыча гидратов.....	43

1.12. Метан угольных залежей.....	43
Вопросы для самопроверки.....	45
<b>Глава 2. Нефтепродукты и методы их испытаний .....</b>	<b>46</b>
2.1. Состав нефти .....	46
2.1.1. Удельный вес по шкале <i>API</i> .....	48
2.1.2. Характеристический фактор.....	49
2.1.3. Содержание осадка и воды .....	49
2.2. Топлива бытового назначения.....	49
2.2.1. Сжиженный нефтяной газ .....	49
2.2.2. Керосин .....	52
2.2.2.1. Склонность к дымлению.....	52
2.2.2.2. Температура вспышки .....	53
2.2.2.3. Нагарообразование и склонность к отложению налета на ламповом стекле.....	54
2.2.2.4. Интервал кипения .....	54
2.2.2.5. Содержание серы и коррозионность .....	54
2.3. Автомобильные топлива .....	55
2.3.1. Автомобильный бензин .....	55
2.3.1.1. Фракционный состав .....	55
2.3.1.2. Октановое число .....	57
2.3.1.3. Коррозионные свойства.....	58
2.3.1.4. Давление паров по Рейду .....	58
2.3.1.5. Окислительная стабильность.....	59
2.3.1.6. Присадки.....	59
2.3.2. Дизельное топливо .....	60
2.3.2.1. Цетановое число .....	60
2.3.2.2. Дизельный индекс .....	60
2.3.2.3. Содержание серы .....	61
2.3.2.4. Коррозионность .....	61
2.3.2.5. Температура вспышки .....	61
2.3.2.6. Высота факела пламени .....	61
2.3.2.7. Температура текучести .....	61
2.3.2.8. Вязкость .....	61
2.4. Авиационные топлива .....	62
2.5. Печные топлива .....	63
2.5.1. Газовые топлива.....	63
2.5.2. Жидкие топлива .....	63
2.6. Смазочные масла .....	64
2.6.1. Вязкость.....	65
2.6.2. Вискозиметр Сейболта.....	65
2.6.3. Вискозиметр Редвуда .....	65
2.6.4. Вискозиметр Брукфилда.....	66
2.6.5. Индекс вязкости.....	66
2.6.6. Температура помутнения .....	67

2.6.7. Температура текучести .....	67
2.7. Прочие продукты .....	68
2.7.1. Масло для переработки джута .....	68
2.7.2. Нефтяной скипидар .....	69
2.7.3. Сырье для производства высокочистого углерода .....	70
2.7.4. Битум .....	70
2.7.5. Нефтяной кокс .....	71
2.7.6. Парафин .....	72
Вопросы для самопроверки.....	72
<b>Глава 3. Процессы переработки нефти .....</b>	<b>73</b>
3.1. Приемка нефти.....	73
3.2. Обессоливание нефти .....	74
3.3. Перегонка нефти.....	76
3.3.1. Атмосферная перегонка .....	76
3.4. Стабилизация верхнего продукта .....	78
3.5. Аминовая очистка .....	79
3.6. Деэтанализация .....	80
3.7. Демеркаптанизация .....	80
3.8. Газофракционирование.....	83
3.9. Разделение бензиновой фракции .....	83
3.10. Гидроочистка тяжелого бензина .....	84
3.11. Риформинг бензина на платиновом катализаторе (платформинг).....	86
3.12. Гидродесульфуризация керосина.....	88
3.13. Гидродесульфуризация газойля .....	88
3.14. Вакуумная перегонка .....	89
3.15. Экстрактивная очистка .....	93
3.16. Деасфальтизация .....	95
3.17. Депарафинизация .....	96
3.18. Гидродоочистка масел .....	96
3.19. Каталитические процессы в производстве базовых масел .....	99
3.20. Гидрокрекинг .....	99
3.21. Мягкий гидрокрекинг .....	102
3.22. Получение водорода.....	102
3.22.1. Десульфуризация (обессеривание) сырья .....	104
3.22.2. Первичный риформинг .....	104
3.22.3. Вторичный риформинг .....	105
3.22.4. Реакторы конверсии.....	105
3.22.5. Очистка водорода .....	106
3.23. Каталитический крекинг в псевдоожиженном слое.....	107
3.24. Производство окисленных битумов.....	108
3.25. Висбрекинг .....	108
3.26. Коксование.....	111
Вопросы для самопроверки.....	112

<b>Глава 4. Смазочные масла и пластичные смазки .....</b>	<b>114</b>
4.1. Компоненты готовых смазочных материалов.....	114
4.2. Автомобильные масла.....	115
4.3. Смазочные материалы промышленного назначения.....	117
4.3.1. Смазки для подшипников.....	117
4.3.2. Гидравлические масла .....	117
4.3.3. Смазочные материалы для компрессоров.....	118
4.3.4. Смазочные материалы для насосов .....	118
4.4. Авиационные масла .....	119
4.5. Масла для судовых двигателей .....	120
4.6. Пластичные смазки.....	121
4.7. Приготовление масел и смазок.....	122
4.8. Влияние смазочных материалов на окружающую среду.....	123
4.9. Утилизация отработанных смазочных материалов.....	123
4.10. Расход энергии в смесительном резервуаре .....	126
Вопросы для самопроверки.....	130
<b>Глава 5. Нефтехимические продукты .....</b>	<b>131</b>
5.1. Определение нефтехимических продуктов.....	131
5.1.1. Сырьевые продукты .....	131
5.1.2. Промежуточные продукты.....	132
5.1.3. Конечные продукты .....	133
5.2. Пиролиз бензина.....	134
5.2.1. Первичное фракционирование (стабилизация) .....	136
5.2.2. Разделение газов пиролиза .....	136
5.3. Процессы получения отдельных продуктов .....	137
5.3.1. Полиэтилен .....	137
5.3.1.1. Полиэтилен низкой плотности.....	139
5.3.1.2. Полиэтилен высокой плотности.....	140
5.3.1.3. Линейный полиэтилен низкой плотности .....	141
5.3.2. Полипропилен.....	142
5.3.3. Полиэтилентерефталат .....	142
5.3.3.1. Теревталева кислота.....	144
5.3.3.2. Этиленгликоль.....	145
5.3.4. Поливинилхлорид.....	146
5.3.5. Полистирол .....	147
5.3.6. Полибутадиен.....	147
5.3.7. Акрилонитрилбутадиенстирол .....	148
5.3.8. Бутадиенстирольный каучук.....	148
5.3.9. Полиметилметакрилат .....	148
5.3.10. Политетрафторэтилен .....	148
5.3.11. Нейлон.....	148
5.3.12. Феноло-формальдегидная смола.....	151
5.3.13. Карбамидо-формальдегидная смола.....	151

5.3.14. Меламино-формальдегидная смола .....	151
5.3.15. Полиуретановые смолы .....	153
5.3.15.1. Диизоцианат толуола .....	153
5.3.16. Силиконы .....	153
5.4. Нефтехимический комплекс .....	153
5.4.1. Потребители нефтехимических продуктов .....	154
5.4.2. Нефтехимические промышленные узлы .....	154
5.5. Обработка пластмассовых, резинотехнических и волоконных материалов .....	154
5.5.1. Формование пластмасс .....	156
5.5.2. Экструзия .....	156
5.5.3. Выдувное формование .....	156
5.5.4. Компрессионное прессование .....	157
5.5.5. Вакуум-формование .....	157
5.5.6. Литьевое формование .....	159
5.5.7. Компаундирование каучуков .....	159
Вопросы для самопроверки .....	160
<b>Глава 6. Объекты общезаводского хозяйства .....</b>	<b>162</b>
6.1. Схемы нефтеперерабатывающего и нефтехимического заводов .....	162
6.2. Технологические установки .....	162
6.3. Объекты общезаводского хозяйства .....	165
6.3.1. Резервуары с плавающей крышей .....	166
6.3.2. Резервуары со стационарной крышей .....	166
6.3.3. Герметизированные резервуары .....	168
6.3.4. Шаровые резервуары .....	168
6.3.5. Оборудование резервуаров .....	168
6.3.6. Операции компаундирования .....	170
6.3.7. Налив, заправка, упаковка и другие операции по отгрузке .....	170
6.3.8. Трубопроводный транспорт .....	171
6.3.9. Очистка сточных вод .....	173
6.3.10. Очистка отходящих газов .....	175
6.3.11. Распределение внутризаводского топлива .....	176
6.4. Теплоэнергетическая установка .....	177
6.5. Градири .....	180
6.6. Установка подготовки технологической воды .....	181
Вопросы для самопроверки .....	183
<b>Глава 7. Материальный и энергетический балансы .....</b>	<b>185</b>
7.1. Определение количеств нефти и продуктов .....	185
7.1.1. Измерение уровня в резервуарах .....	185
7.1.2. Поправка объема на тепловое расширение .....	187
7.1.3. Поправка плотности .....	187
7.2. Измерение количеств газов в герметизированных сосудах .....	192
7.3. Составление материального и энергетического балансов .....	192



7.3.1. Показания расходомеров и счетчиков.....	195
7.3.2. Потребление топлива.....	195
7.3.3. Потребление пара.....	195
7.3.4. Общий материальный баланс.....	196
7.4. Энергетический баланс завода.....	198
7.4.1. Баланс тепловой энергии.....	198
7.4.2. Баланс тепловой энергии в теплообменнике.....	198
7.4.3. Баланс тепловой энергии в печи.....	199
7.4.4. Общий баланс тепловой энергии (тепловой баланс).....	200
Вопросы для самопроверки.....	202
<b>Глава 8. Теплообменники и трубчатые печи.....</b>	<b>203</b>
8.1. Теплообменники.....	203
8.2. Теория теплообмена.....	204
8.2.1. Уравнение теплового баланса.....	204
8.2.2. Скорость теплопереноса.....	207
8.3. Загрязнение теплообменных поверхностей.....	210
8.4. Пластинчатые теплообменники.....	215
8.5. Ребристые теплообменники.....	217
8.6. Шнековые теплообменники.....	217
8.7. Теплообменные линии.....	218
8.8. Трубчатые печи.....	219
8.9. Элементы трубчатой печи.....	222
8.9.1. Трубчатые змеевики.....	222
8.9.2. Футеровка.....	222
8.9.3. Горелки.....	222
8.9.4. Конвекционная секция.....	223
8.9.5. Радиантная секция.....	224
8.9.6. Дымовая труба.....	224
8.10. Эксплуатация печи.....	224
8.11. Тяга печи.....	225
8.12. Расчет печи методом Уилсона–Лобо–Хоттеля.....	225
8.12.1. Расчет печи методом Лобо–Эванса.....	235
Вопросы для самопроверки.....	236
<b>Глава 9. Перегонка и отпарка.....</b>	<b>238</b>
9.1. Процессы перегонки и отпарки.....	238
9.2. Периодическая перегонка.....	238
9.3. Диаграммы температур кипения и равновесия между жидкостью и паром.....	239
9.4. Движущие силы процесса перегонки.....	240
9.5. Непрерывная перегонка.....	242
9.5.1. Приемник орошения.....	242
9.5.2. Секция ректификации.....	243
9.5.2.1. Исходящие потоки.....	244

9.5.2.2. Входящие потоки.....	244
9.5.2.3. Ребойлер.....	245
9.5.2.4. Отгонная секция.....	245
9.5.2.5. Тарелка питания (зона испарения).....	246
9.5.2.6. Расчет испаряемой доли сырья.....	247
9.6. Метод Маккабе–Тиле.....	248
9.6.1. Рабочая линия для зоны испарения (линия сырья).....	250
9.6.2. Рабочая линия для отгонной секции.....	250
9.7. Метод баланса энтальпий.....	251
9.7.1. Приемник орошения.....	251
9.7.2. Верхняя тарелка.....	252
9.7.3. Ребойлер.....	253
9.7.4. Численное решение.....	255
9.7.5. Виды орошения.....	262
9.7.6. Внутреннее орошение.....	262
9.7.7. Минимальное орошение.....	263
9.8. Разрыв и перекрытие (наложение).....	263
9.9. Зависимости Пакки.....	264
Вопрос для самопроверки.....	268
<b>Глава 10. Экстракция.....</b>	<b>269</b>
10.1. Сущность процесса экстракции.....	269
10.2. Процессы экстракции.....	270
10.3. Терминология в сфере экстракции.....	270
10.3.1. Коэффициент распределения.....	270
10.3.2. Частичная растворимость.....	271
10.3.3. Кратность экстрагента к сырью.....	271
10.3.4. Регенерация растворителей.....	271
10.3.5. Разделение фаз.....	272
10.3.6. Избирательность.....	272
10.3.7. Растворяющая способность.....	272
10.3.8. Критическая температура растворения.....	273
10.4. Равновесие фаз в процессе экстракции.....	273
10.5. Периодическая экстракция.....	273
10.6. Непрерывная экстракция.....	275
10.6.1. Расчет числа тарелок.....	276
Вопросы для самопроверки.....	283
<b>Глава 11. Расчеты реакторов.....</b>	<b>284</b>
11.1. Реакторы в нефтепереработке и в нефтехимии.....	284
11.2. Стехиометрия, механизмы и маршруты реакций.....	284
11.3. Скорости реакций и кинетические уравнения.....	286
11.4. Периодические и проточные реакторы.....	287

11.5. Расчет реактора риформинга бензиновой фракции .....	304
11.6. Расчет реактора каталитического крекинга в псевдоожиженном слое.....	306
<b>Глава 12. Элементы трубопроводного транспорта .....</b>	<b>310</b>
12.1. Трубы.....	310
12.2. Элементы трубопроводов.....	311
12.2.1. Защита трубопроводов от коррозии .....	312
12.3. Линии перекачки нефти .....	312
12.3.1. Порядок расчета нефтепроводов .....	313
12.3.2. Оптимальный диаметр трубопровода .....	314
12.4. Линии перекачки продуктов.....	315
12.5. Линии перекачки газа .....	316
12.6. Насосы и компрессоры .....	317
12.6.1. Центробежные насосы .....	317
12.6.1.1. Всасывающая способность центробежного насоса.....	320
12.6.1.2. Удельное число оборотов (коэффициент быстроходности).....	322
12.6.2. Насосы объемного действия .....	324
12.6.3. Роторные насосы .....	325
12.6.4. Компрессоры .....	326
12.7. Расчет потребляемых мощностей .....	326
<b>Глава 13. Средства измерения и управления на нефтеперерабатывающем заводе.....</b>	<b>334</b>
13.1. Аппаратура контроля .....	334
13.1.1. Аппаратное обеспечение .....	334
13.1.2. Линии передачи данных.....	336
13.2. Цепи управления.....	338
13.3. Схемы трубной обвязки и КИП .....	340
13.4. Управляющие программы.....	340
13.5. Распределенные системы управления.....	342
13.6. Пульг управления .....	343
13.7. Управление скоростью подачи нефти .....	344
13.8. Контроль параметров процесса обессоливания .....	346
13.9. Контроль параметров атмосферной перегонной колонны .....	347
13.9.1. Давление в приемнике орошения.....	347
13.9.2. Уровень в приемнике орошения .....	349
13.9.3. Температура на верхней тарелке .....	349
13.9.4. Температура на тарелках отбора.....	351
13.9.5. Скорость отбора с тарелки вторичного испарения .....	352
13.9.6. Давление и температура в зоне испарения .....	352
13.9.7. Температура внизу колонны .....	352
13.9.8. Контроль рабочих параметров печи .....	352
13.10. Контроль параметров вакуумной перегонной колонны.....	352
13.11. Контроль параметров установки риформинга .....	355
13.12. Контроль параметров установки крекинга в псевдоожиженном слое катализатора.....	355

13.12.1. Контроль температуры на выходе реактора .....	358
13.12.2. Контроль уровня катализатора в отпарной секции реактора .....	358
13.12.3. Контроль давлений в реакторе и регенераторах.....	358
13.13. Устройства защиты .....	360
13.13.1. Защита в нормальных рабочих условиях .....	360
13.13.2. Защита при плановых остановках.....	361
13.13.3. Защита в аварийных ситуациях.....	362
13.13.4. Отказ энергоустановки .....	363
13.14. Стандартные сигналы управления процессами .....	363
<b>Глава 14. Пуск-остановка, обслуживание и охрана труда.....</b>	<b>365</b>
14.1. Пуск установок .....	365
14.1.1. Пуск энергоустановки .....	366
14.1.2. Пуск нефтеперегонной установки .....	366
14.1.3. Пуск установки предварительной очистки бензиновой фракции.....	368
14.1.4. Пуск установки риформинга бензиновой фракции.....	369
14.1.5. Пуск установки крекинга в псевдооживленном слое катализатора .....	369
14.2. Остановка установок.....	370
14.2.1. Остановка нефтеперегонной установки .....	371
14.2.2. Остановка установки предварительной очистки бензина .....	371
14.2.3. Регенерация катализатора гидроочистки .....	371
14.2.4. Остановка установки риформинга бензиновой фракции .....	372
14.2.5. Регенерация катализатора риформинга .....	372
14.3. Обслуживание технологического оборудования и общезаводского хозяйства .....	373
14.4. Пожаровзрывобезопасность .....	375
14.4.1. Пирофорные соединения железа.....	376
14.5. Закон об охране труда .....	376
14.6. Анализ опасностей .....	379
<b>Глава 15. Управление и экономика.....</b>	<b>386</b>
15.1. Стоимость оборудования .....	386
15.1.1. Метод масштабирования производительности.....	387
15.1.2. Покупная цена.....	387
15.1.3. Начальная стоимость оборудования.....	387
15.1.4. Амортизация .....	387
15.2. Суммарные затраты на завод .....	388
15.3. Эксплуатационные затраты .....	388
15.4. Себестоимость продукции .....	388
15.5. Цена продукта и прибыль .....	388
15.6. Налоги и пошлины .....	389
15.7. Точка безубыточности, период окупаемости и норма окупаемости .....	389
15.7.1 Период окупаемости .....	389
15.7.2. Норма окупаемости .....	390
15.8. Метод линейного программирования.....	392

---

15.9. Учет материально-технических ресурсов.....	395
15.9.1. Категории материалов.....	396
15.9.2. Учетная документация.....	396
15.9.2.1. Журнал учета замеров уровня.....	397
15.9.2.2. Накладные на вывоз материалов.....	397
15.9.2.3. Акт о замере уровня.....	398
15.9.2.4. Суточный отчет о запасах материальных средств.....	398
15.9.2.5. Журналы регистрации изменений запасов материальных средств.....	398
15.9.2.6. Журнал учета операций получения и отправки грузов.....	398
15.9.3. Учет основных средств.....	411
15.10. Учет энергопотребления.....	411
15.10.1. Учет расхода электрической энергии.....	412
15.10.2. Учет расхода тепловой энергии.....	412
15.10.3. Паровой баланс.....	413
<b>Приложение.....</b>	<b>419</b>