

СОДЕРЖАНИЕ

Об авторах	XIV
От авторов	1
Предисловие	2
Предисловие к русскому изданию	4
Глава 1. ЧТО ВАМ НАДО ЗНАТЬ	
ОБ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ	5
Алифатические углеводороды	10
Циклические соединения	16
Ароматические соединения	17
Гетероциклические соединения	20
«Все остальное»	21
Кислородсодержащие органические соединения	21
Азотсодержащие органические соединения	23
Упражнения	25
Глава 2. БЕНЗОЛ	26
Краткий экскурс в историю	26
Бензол из угля	28
Бензол в процессах переработки нефти	30
Технологическая схема	33
Извлечение бензола растворителями	36
Экстрактивная перегонка	39
Бензол, поступающий с заводов по производству олефинов	41
Получение бензола гидродеалкилированием толуола	41
Получение бензола диспропорционированием толуола	44
Технические аспекты	46
Области применения бензола	47
Резюме	48
Упражнения	48

Глава 3. ТОЛУОЛ И КСИЛОЛЫ	50
Толуол	50
Азеотропная перегонка толуола	52
Технические аспекты	53
Области применения толуола	55
Ксилол	56
Криогенная кристаллизация	59
Адсорбция	61
Диспропорционирование и переалкилирование ...	62
Изомеризация	63
Области применения ксилолов	64
Резюме	64
Упражнения	66
Глава 4. ЦИКЛОГЕКСАН	68
Традиционный процесс	69
Жидкофазный процесс	73
Технические аспекты	76
Области применения циклогексана	76
Резюме	77
Упражнения	77
Глава 5. ПРОИЗВОДСТВО ОЛЕФИНОВ.	
ЭТИЛЕН И ПРОПИЛЕН	78
Производство олефинов	78
Технологическая схема	80
Оборудование	82
Параметры процесса	90
Другие технологии	91
Этилен	95
Пропилен	100
Резюме	102
Упражнения	103
Глава 6. СЕМЕЙСТВО C₄-УГЛЕВОДОРОДОВ	104
Технологическая схема	106
Бутадиен	108
Экстрактивная перегонка	110

Области применения бутадиена	110
Изобутилен	111
Полимеризация	112
Бутен-1	113
Процессы отделения бутена-1	113
Бутен-2	114
Алкилирование	115
Процесс	115
Резюме	116
Упражнения	117
КОММЕНТАРИЙ ОДИН	119
Обзор	119
Предисловие	121
Глава 7. КУМОЛ И ФЕНОЛ	122
Кумол	122
Процесс в присутствии фосфорной кислоты ...	123
Технология каталитической перегонки	
в присутствии цеолита	126
Технические аспекты	128
Фенол	129
Технологическая схема окисления кумола	129
Другие способы получения фенола	133
Технические аспекты	135
Резюме	137
Упражнения	137
Глава 8. ЭТИЛБЕНЗОЛ И СТИРОЛ	138
Этилбензол	138
Химические реакции	139
Технологическая схема	140
Альтернативная технология получения ЭБ	143
Технические аспекты	144
Стирол	144
Дегидрирование этилбензола	145
Оборудование	147

Альтернативные методы получения стирола	150
Стирол с установки по производству олефинов	151
Технические аспекты	152
Резюме	153
Упражнения	154
Глава 9. ДИХЛОРЭТАН И ВИНИЛХЛОРИД	155
Технологическая схема	156
Другая технология	160
Технические аспекты	161
Области применения	162
Резюме	162
Упражнения	163
Глава 10. ЭТИЛЕНОКСИД И ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ	164
Этиленоксид	165
Технологическая схема и оборудование	166
Технические аспекты	169
Этиленгликоль	170
Технические аспекты	172
Резюме	173
Упражнения	174
Глава 11. ПРОПИЛЕНОКСИД И ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ	175
Пропиленоксид	175
Хлоргидриновый метод	176
Оборудование для хлоргидринового метода	179
Метод косвенного окисления	180
Технические аспекты	182
Пропиленгликоль	183
Технические аспекты	184
Резюме	185
Упражнения	186

КОММЕНТАРИЙ ДВА	187
Обзор	187
Предисловие	187
Глава 12. МЕТАНОЛ И СИНТЕЗ-ГАЗ	189
Синтез-газ	189
Технологическая схема производства синтез-газа	190
Технические аспекты	192
Производство аммиака	192
Метанол	193
Технологическая схема	194
Технические аспекты	195
Резюме	199
Упражнения	200
Глава 13. МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВЫЙ ЭФИР	201
Технологическая схема	202
Технические аспекты	204
Резюме	205
Упражнения	205
Глава 14. ДРУГИЕ СПИРТЫ	207
Этиловый спирт	209
Технологическая схема	210
Другие способы	213
Технические аспекты	214
Изопропиловый спирт	215
Непрямая гидратация	215
Прямая гидратация	218
Технические аспекты	219
<i>n</i> -Бутиловый спирт и 2-этилгексанол	220
Технологическая схема производства <i>n</i> -БС	224
Технологическая схема производства 2-ЭГ	224
Технические аспекты	225
Вторичные и третичные бутиловые спирты	226
Бутандиол-1,4	227
Технические аспекты	230
Резюме	230
Упражнения	230

Глава 15. ВЫСШИЕ СПИРТЫ	232
Метод, которым пользуется Природа	232
Метод Циглера	236
Оксопроцесс	239
Технические аспекты	242
Резюме	246
Упражнения	246
Глава 16. ФОРМАЛЬДЕГИД И АЦЕТАЛЬДЕГИД	247
Формальдегид	248
Технологическая схема	249
Технические аспекты	251
Полимеры формальдегида	252
Ацетальдегид	253
Технологическая схема	254
Другие технологии	256
Технические аспекты	256
Полимеры ацетальдегида	257
Резюме	258
Упражнения	259
Глава 17. КЕТОНЫ (АЦЕТОН, МЕТИЛЭТИЛКЕТОН И МЕТИЛИЗОБУТИЛКЕТОН)	260
Ацетон	260
Технологическая схема	262
Другие методы	264
Технические аспекты	265
Метилэтилкетон	266
Технические аспекты	268
Метилизобутилкетон	269
Альтернативные процессы	271
Технические аспекты	271
Резюме	272
Упражнения	273

Глава 18. КИСЛОТЫ	275
Уксусная кислота	276
Производство уксусной кислоты	277
Технологические схемы производства уксусной кислоты	278
Технические аспекты	280
Адипиновая кислота	281
Технические аспекты	283
Фталевые кислоты	284
Фталевая кислота и фталевый ангидрид	285
Терефталевая кислота	287
Изофталевая кислота	290
Резюме	290
Упражнения	291
Глава 19. АКРИЛОНИТРИЛ, АКРИЛОВАЯ КИСЛОТА И АКРИЛАТЫ	293
Акрилонитрил	295
Технологическая схема	296
Другие процессы	298
Технические аспекты	299
Метакрилонитрил	300
Акриловая кислота	300
Акрилаты (и метакрилаты)	302
Получение этилакрилата из ацетилена	303
Гидролиз акрилонитрила	304
Каталитическое окисление пропилена	305
Окислительное карбонилирование этилена	306
Технические аспекты	307
Метакрилаты	308
Технологическая схема	309
Технические аспекты	311
Резюме	312
Упражнения	313

Глава 20. МАЛЕИНОВЫЙ АНГИДРИД	314
Технологическая схема	316
Технические аспекты	320
Резюме	321
Упражнения	322
Глава 21. α-ОЛЕФИНЫ	323
Краткий экскурс в историю	324
Производство α -олефинов	326
Технологическая схема	329
Другие катализаторы	331
Процесс Альфа-селект	332
Технические аспекты	334
Резюме	336
Упражнения	337
КОММЕНТАРИЙ ТРИ	338
Обзор	338
Предисловие	341
Глава 22. ПРИРОДА ПОЛИМЕРОВ	342
Краткий экскурс в историю	342
Классификация полимеров	343
Получение полимеров	346
Полиприсоединение	347
Поликонденсация	351
Термореактивные полимеры	352
Способы полимеризации	354
Свойства полимеров	356
Резюме	359
Упражнения	360
Глава 23. ТЕРМОПЛАСТЫ	362
Полиэтилен	363
Полимеризация в массе (при высоком давлении)	366
Полимеризация в растворе	368

Технические аспекты	374
Полипропилен	374
Установка для производства ПП	377
Поливинилхлорид	378
Пластификаторы	379
Производство ПВХ	380
Технологическая схема производства ПВХ	381
Полистирол	383
Производство полистирола	384
Технологическая схема производства ПС	384
Области применения	386
Вспененные полимеры	387
Свойства пластмасс	389
Резюме	389
Упражнения	390
Глава 24. СМОЛЫ И ВОЛОКНА	391
Смолы	391
Термореактивные полимеры (реактопласты) ...	391
Конструкционные смолы	398
Волокна	402
Механические свойства волокон	403
Нейлон (полиамидные волокна)	404
Полиэфирные волокна	405
Полиакриловое волокно	407
Полипропиленовые волокна	408
Резюме	408
Упражнения	409
КОММЕНТАРИЙ ЧЕТЫРЕ	410
Приложение 1. ВЫХОД И СТЕПЕНЬ	
 ПРЕВРАЩЕНИЯ	412
Приложение 2. АББРЕВИАТУРЫ,	
 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ХИМИЧЕСКОЙ	
 ПРОМЫШЛЕННОСТИ	415
Словарь терминов	418
Ответы на вопросы и решения	452
Предметный указатель	469

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Число способов, которыми нефтехимические продукты проникают в нашу повседневную жизнь, бесконечно. Мы их носим, умываемся ими, упаковываем в них пищу, изолируем ими наши дома. Из тканей, сотканных из этих веществ, шьют национальные флаги. И хотя нефтепродукты нельзя употреблять в пищу (пока), хирурги уже умеют заменять жизненно важные части человеческого тела изготовленными на их основе изделиями. А когда это не помогает, приходит очередь жидкости для бальзамирования, которую также получают из нефтехимических продуктов.

Что может предпринять любознательный человек, не имеющий специального образования, если он хочет выяснить, как же получают эти вещества? Два наиболее бесперспективных способа — спросить об этом химика-технолога или взять учебник по химической технологии.

С развитием нефтехимии деятельность все большего числа людей, не имеющих химического образования, тесно связана с нефтехимическими процессами превращения сырья в потребительские товары. Это специалисты по маркетингу, распространению готовой продукции, финансам, строительству, снабжению, работники транспорта, дополнительных служб, производственный персонал и др. Поэтому и возникла потребность в данной книге. Мы подумали, что такому «внешнему персоналу» будет интересно узнать подробнее, что же происходит внутри нефтехимического завода, — это, несомненно, сделает их работу более продуктивной. Поскольку большинство указанных специалистов — не химики и не технологи, книга написана «нетехническим» языком.

Для удобства мы в основном использовали примеры и статистические данные, относящиеся к экономике США. Однако опыт нам подсказывает, что технологии легко распространяются через государственные границы, и поэтому процессы, которые мы здесь описываем, отражают развитие мировой нефтехимической промышленности.

*Доналд Л. Бардик,
Уильям Л. Леффлер*

ЧТО ВАМ НАДО ЗНАТЬ ОБ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

И молвил морж: «Пришла пора
Подумать о делах:
О башмаках и сургуче,
Капусте, королях...».

*Льюис Кэрролл (1832—1898).
«Алиса в Зазеркалье»*

Что такое органическая химия? Это наука о соединениях углерода, и знание ее основ необходимо для понимания нефтехимии. Вы можете спросить, откуда взялось название *органическая*? Много лет назад, а именно до 1800 г., слово «органический» относилось только к соединениям, образовавшимся в результате жизнедеятельности какого-либо живого объекта — растения или животного. В начале XIX в. немецкий химик по фамилии Вёлер синтезировал мочевины, основной компонент мочи (история умалчивает, зачем ему это понадобилось). До этого момента считалось, что мочевина может образоваться исключительно «органически», т. е. в организме животного. Так понятие *органическая химия* вышло за пределы его первоначального значения и теперь охватывает все соединения углерода. В настоящее время различие между органической и неорганической химией скорее условное, нежели принципиальное.

Удивительно, но факт: на долю органических соединений приходится более 95% из всех ныне известных веществ, а это больше миллиона. Для того чтобы понять, почему так широко распространены органические нефтехимические продукты, рассмотрим характерное строение углерода и его соединений. Пер-

вая — это электронное строение углерода. Теперь не отвлекайтесь! Сейчас вам будет предложено очень краткое изложение понятий *Периодической системы элементов, атомов, электронов, протонов, валентности, связей и соединений*.

Существует более 100 разных сортов *атомов*, из множества комбинаций которых состоят молекулы всех веществ и которые в соответствии с их структурой можно расположить в виде таблицы. Эта таблица и есть *Периодическая система элементов*. В центре каждого атома находится ядро, состоящее из *протонов* и *нейтронов*. Протоны заряжены положительно, а нейтроны нейтральны, так что в целом ядро имеет положительный заряд. Вокруг ядра по орбитам* движутся *электроны*; их столько же, сколько и протонов, но они имеют противоположный (отрицательный) заряд. Вы можете представить себе атом как некое подобие Солнечной системы, в которой ядро играет роль Солнца, а электроны движутся вокруг него, как планеты.

Однако орбитали отличаются друг от друга. На внутренней орбитали может находиться один, максимум — два электрона, на следующей — до восьми электронов. Последующие орбитали устроены намного сложнее, но, к счастью, атомы, входящие в состав почти всех нефтехимических продуктов, имеют не более двух орбиталей.

Правила расположения электронов на орбиталях имеют большое значение, так как число электронов на внешней орбитали определяет некоторые основные химические свойства элемента. Чтобы достичь наибольшей стабильности, атомы стремятся максимально заполнить свою внешнюю орбиталь. Они могут приобретать и терять электроны, а также иметь общий с другим атомом полный набор из двух или восьми электронов.

Возьмем, к примеру, атом углерода. В его ядре содержится шесть нейтронов и шесть протонов, а на его орбиталях находится шесть электронов — два на первой орбитали и, соответственно, четыре на второй. Эти четыре электрона на внешней орбитали принято называть *валентными*. *Валентность* углерода равна четырем, так как необходимо еще четыре электрона, чтобы его внешняя орбиталь оказалась максимально заполненной. Поэтому углероду нужны дополнительные атомы, с которыми он мог бы иметь общие электроны.

* Они называются *орбиталями*. — Примеч. редактора.

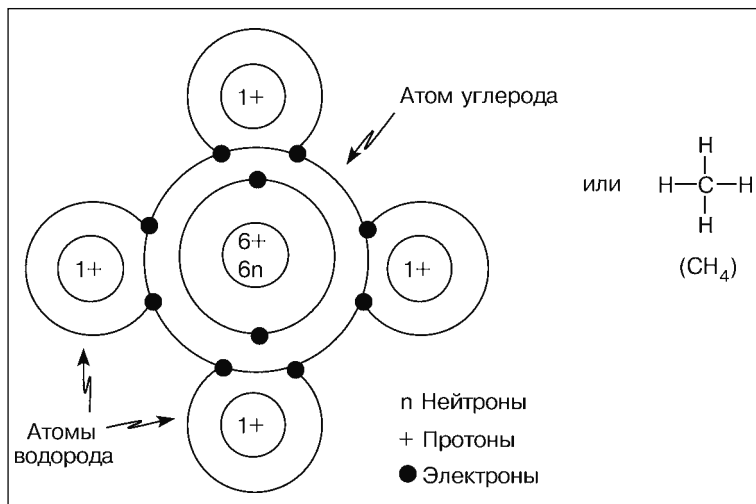


Рисунок 1.1. Различные способы изображения метана

Другой пример — атом водорода. У него в ядре содержится только один протон, а также есть один электрон на первой орбитали (она же единственная). Для стабилизации ему нужен еще один электрон. На рисунке 1.1 показано, как углерод и водород могут достичь взаимной выгоды, соединившись в новое вещество — метан.

Каждый из четырех атомов водорода предоставляет свой единственный электрон атому углерода, и таким образом удовлетворяется потребность углерода дополнить свою внешнюю орбиталь до восьми электронов. А атом углерода, в свою очередь, предоставляет свои четыре электрона четырем атомам водорода, и таким образом их внешние орбитали дополняются до двух электронов. Результатом этого «группового общения» будет стабильное *соединение* с уравновешенными зарядами протонов и электронов.

Атомы углерода и водорода могут соединяться с другими атомами углерода и водорода. Когда один атом водорода «подцепляет» другой такой же атом, они образуют молекулу H₂, в которой потребность обоих атомов в электронах удовлетворена. Однако, когда объединяются два атома углерода, каждому

из них все равно требуется еще по три электрона. Они могут получить эти электроны у атомов водорода, и, если это происходит, образуется молекула этана (рис. 1.2).

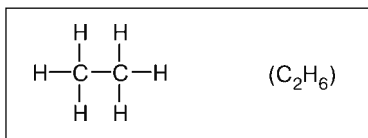


Рисунок 1.2. Этан

Стремление углерода объединяться с четырьмя другими атомами в какой-то мере объясняет существование столь большого числа соединений углерода. Действительно, имеется множество вариантов связывания других атомов с атомами углерода.

Вторая характерная особенность соединений углерода, помогающая объяснить их разнообразие, — *изомерия*. Соединения с одинаковым числом атомов каждого сорта могут иметь совершенно различные свойства. Например, формула глюкозы (т. е. ее состав) — $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Кроме нее известно еще 16 соединений с таким же точно числом атомов углерода, водорода и кислорода. Тем не менее было бы нежелательно, чтобы медсестра ввела вам внутривенно вместо глюкозы фруктозу или галактозу, хотя они имеют такую же формулу. Дело в том, что атомы могут соединяться различными способами, образуя разные пространственные конфигурации. В дальнейшем вы увидите, что такие вещества ведут себя по-разному и их физические и химические свойства неодинаковы. Соединения, имеющие одинаковый состав, но в то же время различающиеся по своим свойствам, принято называть *изомерами*.

Таким образом, если к явлению изомерии прибавить склонность углерода образовывать соединения (валентность 4) и учесть созданное природой изобилие углерода в нашем мире, можно понять, почему соединения углерода преобладают в окружающем нас мире и в чем важность органической химии в целом.

Еще одна отличительная черта углерода, которая тоже очень важна и должна быть рассмотрена, до того как мы оставим тему валентности, — это его способность образовывать кратные связи. Вы уже узнали, что атом углерода может соединяться с другим таким же атомом и с тремя атомами другого вида. Но в действительности, чтобы заполнить свою валентность, равную четырем, атомы углерода могут соединиться друг с другом с помощью двойных или тройных связей. К примеру, на рисунке 1.3 по-