

Малкольм А. Келланд

ПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

*Перевод с английского языка 2-го издания
под редакцией Л. А. Магадовой*

издательство
ПРОФЕССИЯ

Санкт-Петербург
2015

ЦЕНТР
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
ПРОФЕССИЯ

УДК 665.62
ББК 33.36

Малкольм А. Келланд

К34 Промысловая химия в нефтегазовой отрасли : пер. с англ. яз. 2-го изд.; под ред. Л. А. Магадовой. — СПб. : ЦОП «Профессия», 2015. — 608 с., ил.

ISBN 978-5-91884-065-8

ISBN 978-1-4398-7379-3(англ.)

В обновленном издании представлен широкий ассортимент промышленной химии для нефтегазовой отрасли на основе многочисленных разработок, патентов, стандартов *SPE*. Рассмотрены состав, структура, свойства и область применения реагентов в зависимости от решения задач для бурения, добычи и транспортировки. Даны рекомендации по анализу и выбору реагентов с целью увеличения отдачи пласта, минимизации экологических загрязнений, уменьшения общих затрат. В специальных главах рассмотрены использование пенообразователей для обезвоживания газовых скважин, применение ингибиторов коррозии, поглотителей кислорода и сероводорода, флокулянтов, улучшение составов реагентов и технологий для стимулирования извлечения и поддержания качества нефти и газа.

Книга предназначена специалистам по промышленной химии, добыче и транспортировке нефти и газа, сервисных компаний, разработчикам и поставщикам реагентов, студентам профильных специальностей.

УДК 665.62
ББК 33.36

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 978-1-4398-7379-3 (англ.)
ISBN 978-5-91884-065-8

© 2014 by Taylor & Francis Group, LLC
© ЦОП «Профессия», 2015
© Перевод, оформление: ЦОП «Профессия», 2015

Оглавление

Предисловие к русскому изданию	14
Предисловие ко второму изданию	15
Предисловие к первому изданию	16
Об авторе	18
1. ВВЕДЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ	19
1.1. Общие сведения о химическом составе добываемой нефти	19
1.2. Факторы, влияющие на выбор нефтепромысловых реагентов	25
1.2.1. Закачка реагента, участки закачки и другие способы введения реагента	27
1.2.1.1. При каком участке закачки реагента максимально увеличивается эффективность обработки?	30
1.2.1.2. Достаточно ли время пребывания реагента на линии процесса для качественной обработки?	30
1.2.1.3. Совместим ли реагент с температурой на участке закачки?	30
1.2.1.4. Совместим ли реагент с флюидами, в которые закачивается?	30
1.2.1.5. Не приведет ли реагент к нежелательным побочным эффектам в нагнетательном, сборном или нефтехимическом оборудовании	31
1.2.1.6. Повлияет ли реагент на эффективность других нефтепромысловых реагентов?	31
1.2.1.7. Вязкость и проблемы прокачки на линии нагнетания	32
1.3. Природоохранные и экотоксикологические нормативы	32
1.3.1. Экологические нормативы <i>OSPAR</i> для нефтепромысловых реагентов	33
1.3.2. Нормативы европейского регламента <i>REACH</i>	35
1.3.3. Экологические нормативы США	36
1.3.4. Экологические нормативы в других регионах мира	37
1.4. Разработка более экологически безопасных реагентов	38
1.4.1. Накопление токсичных веществ живыми организмами	38
1.4.2. Уменьшение токсичности	39
1.4.3. Биохимическое разложение	40
1.5. Ртуть и мышьяк	44
Литература	47
2. БОРЬБА С ВОДОПРИТОКОМ И ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕМ	52
2.1. Введение	52
2.2. Смолы и эластомеры	53
2.3. Неорганические гели	54
2.4. Гели из сетчатых органических полимеров для длительной изоляции	56
2.4.1. Нагнетание полимера	57
2.4.1.1. Сшивание содержащих карбоксилат полиакриламидов и биополимеров ионами металлов	58
2.4.1.2. Гели из натуральных полимеров	60
2.4.1.3. Органическое сшивание	61
2.4.1.4. Гели на основе поливинилового спирта или поливиниламинов	64

2.4.1.5.	Проблемы, связанные с изоляцией водоносных горизонтов полимерными гелями	65
2.4.1.6.	Другие улучшения гелей из сшитых полимеров	66
2.4.2.	Полимеризация мономеров в условиях пласта	66
2.5.	Гели на основе вязкоупругого поверхностно-активного вещества	67
2.6.	Уплотняющая добавка неравномерного распределения проницаемости или модификатор относительной проницаемости	68
2.6.1.	Эмульсионные гели, используемые в качестве <i>DPR</i>	68
2.6.2.	Гидрофильные полимеры, используемые в качестве <i>RPM</i>	69
2.6.2.1.	Типы полимерных <i>RPM</i>	70
2.6.2.2.	Гидрофобно модифицированные синтетические полимеры в качестве <i>RPM</i>	72
2.6.2.3.	<i>RPM</i> из сшитых полимеров	74
2.6.2.4.	Вязкоупругие <i>RPM</i>	75
2.7.	Борьба с водопритоками при помощи микрочастиц	75
2.8.	Термически чувствительные водорастворимые полимеры	77
2.9.	Полимеры, набухающие в воде	78
2.10.	Изоляция газоносных горизонтов	78
	Литература	79
3.	БОРЬБА С СОЛЕОТЛОЖЕНИЯМИ	91
3.1.	Введение	91
3.2.	Типы солеотложений	91
3.2.1.	Отложения карбоната кальция	93
3.2.2.	Сульфатные отложения	94
3.2.3.	Сульфидные отложения	95
3.2.4.	Отложения хлорида натрия (галита)	96
3.2.5.	Смешанные отложения	96
3.3.	Нехимические методы борьбы с солеотложениями	97
3.4.	Торможение образования солеотложений карбонатов и сульфатов группы II	99
3.4.1.	Полифосфаты	102
3.4.2.	Эфиры фосфорной кислоты	102
3.4.3.	Неполимерные фосфонаты и аминифосфонаты	103
3.4.4.	Полифосфонаты	107
3.4.5.	Фосфинополимеры и полифосфинаты	109
3.4.6.	Поликарбоксилаты	111
3.4.6.1.	Биоразлагаемые поликарбоксилаты	113
3.4.7.	Полисульфонаты	116
3.5.	Замедление сульфидных солеотложений	117
3.6.	Замедление галитных отложений	119
3.7.	Методы применения ингибиторов солеотложений	121
3.7.1.	Непрерывное дозирование	121
3.7.2.	Обработка ингибитором солеотложений с закачиванием в пласт под давлением	122
3.7.2.1.	Комбинирование обработки с закачкой под давлением ингибитора солеотложений с другими видами обработки скважин	130

3.7.3.	Ингибиторы солеотложений в безводной или твердой фазе для закачки под давлением	131
3.7.3.1.	Нефтесмешиваемые ингибиторы солеотложений	132
3.7.3.2.	Полностью безводные ингибиторы солеотложений в смесях органических растворителей	132
3.7.3.3.	Эмульгированные ингибиторы солеотложений	133
3.7.3.4.	Твердофазные ингибиторы солеотложений (для закачки под давлением и иных способов обработки)	133
3.7.4.	Размещение ингибитора солеотложений при обработке пласта под давлением	135
3.8.	Тестирование производительности ингибиторов солеотложений	136
3.9.	Удаление солеотложений химическими способами	140
3.9.1.	Удаление карбонатных отложений	140
3.9.2.	Удаление сульфатных отложений	142
3.9.3.	Удаление сульфидных отложений	145
3.9.4.	Удаление свинцовых солеотложений	147
	Литература	147
4.	БОРЬБА С ОТЛОЖЕНИЯМИ АСФАЛЬТЕНОВ	174
4.1.	Введение	174
4.2.	Диспергенты и ингибиторы асфальтенов	179
4.3.	Низкомолекулярные неполимерные диспергенты асфальтенов	183
4.3.1.	Низкополярные неполимерные ароматические амфифильные (дифильные) вещества	184
4.3.2.	Неполимерные поверхностно-активные вещества на основе сульфоновой кислоты	185
4.3.3.	Другие неполимерные диспергенты асфальтенов с кислотными головными группами	187
4.3.4.	Диспергенты асфальтенов на основе амидных и имидных неполимерных поверхностно-активных веществ	190
4.3.5.	Диспергенты асфальтенов на основе алкилфенолов и аналогичных веществ	193
4.3.6.	Ион-парные поверхностно-активные вещества	195
4.3.7.	Прочие неполимерные диспергенты асфальтенов	196
4.4.	Олигомерные (смолистые) и полимерные ингибиторы асфальтенов	197
4.4.1.	Олигомеры алкилфенольных/альдегидных смол	198
4.4.2.	Полиэфирные и полиамидные/имидные ингибиторы асфальтенов	201
4.4.3.	Другие полимерные ингибиторы асфальтенов	206
4.5.	Общие сведения о диспергентах и ингибиторах асфальтенов	208
4.6.	Растворители асфальтенов	208
	Литература	212
5.	КИСЛОТНАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРИТОКА	223
5.1.	Введение	223
5.2.	Кислотный гидравлический разрыв карбонатных пластов	224
5.4.	Кислоты, применяемые для кислотной обработки	225
5.4.1.	Кислоты для карбонатных пластов	225

5.4.2.	Кислота для песчаных коллекторов	226
5.5.	Потенциальное ухудшение эксплуатационных характеристик коллектора в результате кислотной обработки	228
5.6.	Добавки для кислотной обработки	229
5.6.1.	Ингибиторы коррозии для кислотной обработки	229
5.6.1.1.	Общие сведения	229
5.6.1.2.	Ингибиторы коррозии на основе азота	230
5.6.1.3.	Кислородосодержащие ингибиторы коррозии, включая ингибиторы с ненасыщенными связями	232
5.6.1.4.	Ингибиторы коррозии, содержащие серу	236
5.6.2.	Регуляторы содержания железа	238
5.6.3.	Гидрофильные агенты	239
5.6.4.	Другие реагенты, возможные для применения при кислотной обработке	240
5.7.	Размещение реагентов кислотной обработки в интервале скважины	242
5.7.1.	Отклонители потока на основе твердых частиц	243
5.7.2.	Отклонители потока на основе полимерных гелей	244
5.7.3.	Пенные отклонители потока	246
5.7.4.	Вязкоупругие поверхностно-активные вещества	248
5.8.	Размещение жидкостей кислотной обработки в пласте	254
5.8.1.	Гидрофобные поверхностно-активные вещества	255
5.8.2.	Слабые органические кислоты	255
5.8.3.	Слабые фторированные агенты для кислотной обработки терригенного пласта	256
5.8.4.	Буферные кислоты	256
5.8.5.	Загущенные или вязкие кислоты	256
5.8.6.	Пенокислоты	257
5.8.7.	Термочувствительные кислотообразующие реагенты и ферменты	257
5.8.8.	Эмульгированные кислоты	258
	Литература	260
6.	ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЫНОСА ПЕСКА	272
6.1.	Введение	272
6.2.	Предотвращение выноса песка химическими методами	272
6.2.1.	Укрепление пластов при помощи смол	272
6.2.2.	Укрепление пластов посредством органосиланов	274
6.2.3.	Другие методы химического укрепления пластов	275
	Литература	276
7.	МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ НАФТЕНОВЫХ КИСЛОТ И СОЛЕЙ ДРУГИХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ	279
7.1.	Введение	279
7.2.	Предотвращение отложения солей нафтеновых кислот посредством использования кислот	281
7.3.	Ингибиторы нафтената низкой дозировки	282
	Литература	285

8. ИНГИБИРОВАНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ НЕФТИ	287
8.1. Введение	287
8.2. Способы контроля за скоростью коррозии	290
8.3. Ингибиторы коррозии	291
8.4. Пленкообразующие ингибиторы коррозии	293
8.4.1. Как действуют пленкообразующие ингибиторы коррозии	294
8.4.2. Тестирование ингибиторов коррозии	295
8.4.3. Меры по разработке более экологически безопасных пленкообразующих ингибиторов коррозии	297
8.4.4. Классы пленкообразующих ингибиторов коррозии	298
8.4.4.1. Фосфатные эфиры	300
8.4.4.2. Аминные соли (поли)карбоновых кислот	301
8.4.4.3. Четвертичный аммоний и иминиевые соли и цвиттерионные соединения	301
8.4.4.4. Амидоамины и имидазолины	306
8.4.4.5. Амиды	311
8.4.4.6. Полигидроксильные и этоксилированные амины/амиды	312
8.4.4.7. Другие гетероциклические соединения азота	313
8.4.4.8. Соединения серы	313
8.4.4.9. Водорастворимые ингибиторы коррозии на основе полиаминокислот и других полимеров	316
Литература	318
9. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ	328
9.1. Введение	328
9.2. Химическое предотвращение гидратной закупорки	331
9.2.1. Термодинамические ингибиторы гидратообразования	332
9.2.1.1. Эксплуатационные вопросы, связанные с термодинамическими ингибиторами гидратообразования	336
9.2.2. Кинетические ингибиторы гидратообразования	337
9.2.2.1. Введение в кинетические ингибиторы гидратообразования и механизмы их действия	337
9.2.2.2. Кинетические ингибиторы гидратообразования на основе виниллактамных полимеров	341
9.2.2.3. Кинетические ингибиторы гидратообразования на основе сверхразветвленного полиамидоэфира	346
9.2.2.4. Совместимость кинетических ингибиторов гидратообразования с другими химическими веществами, используемыми при добыче	348
9.2.2.5. Полимерные кинетические ингибиторы гидратообразования на основе пироглутамата	349
9.2.2.6. Кинетические ингибиторы гидратообразования на основе поли(ди)алкил(мет)акриламида	349
9.2.2.7. Другие классы кинетических ингибиторов гидратообразования	351
9.2.2.8. Тестирование производительности кинетических ингибиторов гидратообразования	355

9.2.2.9.	Повторная переработка или утилизация кинетических ингибиторов гидратообразования	358
9.2.3.	Антиагломеранты	359
9.2.3.1.	Эмульгирующие антиагломеранты, используемые в трубопроводах	360
9.2.3.2.	Гидратофильные трубопроводные антиагломеранты	361
9.2.3.3.	Тестирование производительности трубопроводных антиагломерантов	367
9.2.3.4.	Природные поверхностно-активные вещества и не образующие гидратные пробки виды нефти	368
9.2.3.5.	Антиагломеранты, используемые в газовых скважинах	369
9.3.	Удаление газогидратных пробок	370
9.3.1.	Использование термодинамических ингибиторов гидратообразования	371
9.3.2.	Теплогенерирующие химические вещества	371
	Литература	372

10. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПАРАФИНОВ (ПАРАФИНОВОГО ВОСКА) 389

10.1.	Введение	389
10.1.1.	Отложение парафинов	391
10.1.2.	Увеличение вязкости и гелеобразование парафинов	392
10.2.	Стратегии предотвращения образования отложения парафина	393
10.3.	Удаление парафиновых отложений с помощью химических веществ	396
10.3.1.	Промывка скважины горячей нефтью и связанные с ней методы	396
10.3.2.	Растворители для удаления парафиновых отложений	397
10.3.3.	Наборы термохимических реагентов	398
10.4.	Химическое предотвращение отложения парафинов	401
10.4.1.	Методы испытания	401
10.4.2.	Ингибиторы отложения парафинов и депрессорные присадки	403
10.4.3.	Полимеры и сополимеры этилена	407
10.4.4.	Гребенчатые полимеры	408
10.4.4.1.	Метакрилатные эфирные полимеры	408
10.4.4.2.	Сополимеры малеинового ангидрида	411
10.4.5.	Разные полимеры	414
10.4.6.	Диспергаторы парафинов	417
10.4.7.	Полярные фракции сырой нефти в качестве реагентов для снижения гидравлических потерь	419
10.4.8.	Методы ввода в действие ингибиторов образования отложения парафинов и депрессорных присадок	420
	Литература	421

11. ДЕЭМУЛЬГАТОРЫ 431

11.1.	Введение	431
11.2.	Методы деэмульгирования	433
11.3.	Деэмульгаторы нефтеводяных суспензий	434
11.3.1.	Теория и практика	434
11.3.2.	Методы испытаний и параметры выбора деэмульгатора	436
11.3.3.	Классы нефтеводяных деэмульгаторов	438

11.3.3.1. Полиалкоксилатные блок-сополимеры и производные эфиров	440
11.3.3.2. Алкоксилаты алкилфенолальдегидных смол	441
11.3.3.3. Полиалкоксилаты полиолов или глицидилэфиров	444
11.3.3.4. Полиаминполиалкоксилаты и связанные с ними катионные полимеры	445
11.3.3.5. Производные полиуретанов (карбаматов) и полиалкоксилатов	446
11.3.3.6. Гиперразветвленные полимеры	447
11.3.3.7. Виниловые полимеры	447
11.3.3.8. Полисиликоны	448
11.3.3.9. Деэмульгаторы с улучшенной способностью к биологическому разложению	449
11.3.3.10. Деэмульгаторы двойного назначения	452
Литература	454
12. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕНООБРАЗОВАНИЯ	460
12.1. Введение	460
12.2. Антивспенивающие агенты и пеногасители	460
12.2.1. Силиконы и фторосиликоны	462
12.2.2. Полигликоли	463
Литература	465
13. ФЛОКУЛЯНТЫ	468
13.1. Введение	468
13.2. Теория флокуляции	470
13.3. Флокулянты	470
13.3.1. Проверка эксплуатационных параметров флокулянтов	473
13.3.2. Катионные полимеры	473
13.3.2.1. Полимеры на основе диаллилдиметиламмонийхлорида	474
13.3.2.2. Катионные полимеры на основе акриламида или акрилатов	475
13.3.2.3. Другие катионные полимеры	477
13.3.2.4. Экологически чистые катионные полимерные флокулянты	479
13.3.2.5. Дитиокарбаматы: псевдокатионные полимерные флокулянты с хорошими экологическими свойствами	481
13.3.3. Анионные полимеры	482
13.3.4. Амфотерные полимеры	483
Литература	483
14. БИОЦИДЫ	488
14.1. Введение	488
14.2. Химические вещества для предотвращения образования бактерий	491
14.3. Биоциды	493
14.3.1. Окисляющие биоциды	493
14.3.2. Неокисляющие органические биоциды	496
14.3.2.1. Альдегиды	497
14.3.2.2. Четвертичные фосфониевые соединения	499
14.3.2.3. Четвертичные аммониевые соединения	502
14.3.2.4. Катионные полимеры	503

14.3.2.5	Органические бромиды	504
14.3.2.6	Метронидазол	505
14.3.2.7	Изотиазолон (или изотиазолинон) и тионы	505
14.3.2.8	Органические тиоцианаты	506
14.3.2.9	Фенолы	507
14.3.2.10	Алкиламины, диамины и триамины	507
14.3.2.11	Дитиокарбаматы	508
14.3.2.12	2-децилтиоэтанамин и его гидрохлорид	508
14.3.2.13	Производные триазина	509
14.3.2.14	Оксазолидины	509
14.3.2.15	Особые классы поверхностно-активных веществ	509
14.4.	Биостаты (управление «биоцидами», или ингибиторами метаболизма)	510
14.4.1.	Антрахинон в качестве биоцидного контроля	510
14.4.2.	Обработка нитратами и нитритами	511
14.4.3.	Другие биостаты	513
14.5.	Резюме	514
	Литература	514
15.	ПОГЛОТИТЕЛИ СЕРОВОДОРОДА	524
15.1.	Введение	524
15.2.	Нерегенеративные поглотители H_2S	527
15.2.2.	Окислители	528
15.2.3.	Альдегиды	529
15.2.4.	Продукты реакции альдегидов и аминов, в особенности триазины	533
15.2.5.	Карбоксилаты металлов и хелаты	537
15.2.6.	Другие продукты на основе амина	538
15.3.	Выводы	540
	Литература	541
16.	ПОГЛОТИТЕЛИ КИСЛОРОДА	547
16.1.	Введение	547
16.2.	Виды поглотителей кислорода	547
16.2.1.	Соли дитионита	548
16.2.2.	Гидразиновые и гуанидиновые соли	548
16.2.3.	Гидроксиламины и оксимы	549
16.2.4.	Активированные альдегиды и соединения полигидроксила	550
16.2.5.	Каталитическое гидрирование	551
16.2.6.	Энзимы	551
16.2.7.	Реагенты на основе сульфидированного железа	551
16.2.8.	Бисульфиты, метабисульфиты и сульфитные соли	551
	Литература	553
17.	АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПРИСАДКИ	556
17.1.	Введение	556
17.2.	Механизмы действия антифрикционных присадок	559
17.3.	Нефтерастворимые антифрикционные присадки	561
17.3.1.	История вопроса	561

17.3.2.	Нефтерастворимые полимерные антифрикционные присадки	561
17.3.2.1.	Антифрикционные присадки на основе полиалкена (полиолефина)	562
17.3.2.2.	Антифрикционные присадки на основе эфира полиметакриловой кислоты	564
17.3.2.3.	Другие нефтерастворимые полимерные антифрикционные присадки	566
17.3.2.4.	Преодоление трудностей, связанных с обращением, подачей с помощью насоса и закачкой сверхвысокомолекулярных полимерных антифрикционных присадок	566
17.3.2.5.	Нефтерастворимые полимерные антифрикционные присадки в многофазном потоке	568
17.3.3.	Нефтерастворимые поверхностно-активные антифрикционные присадки	568
17.4.	Водорастворимые антифрикционные присадки	569
17.4.1.	Водорастворимые полимерные антифрикционные присадки	569
17.4.1.1.	Полисахариды и производные	570
17.4.1.2.	Полиэтиленоксидные антифрикционные присадки	571
17.4.1.3.	Антифрикционные присадки на основе акриламида	572
17.4.2.	Водорастворимые поверхностно-активные антифрикционные присадки	575
17.4.3.	Снижение сопротивления и ингибирование коррозии	579
Литература		580

18. ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОИСПЫТАНИЙ 587

18.1.	Введение	587
18.2.	Составы для гидроиспытаний	588
18.2.1.	Биоциды	590
18.2.2.	Поглотители кислорода	591
18.2.3.	Ингибитор коррозии	591
18.2.4.	Красители	591
18.2.5.	Другие химические вещества, применяемые при гидроиспытаниях	592
18.2.6.	Разработки, благоприятные для окружающей среды	592
Литература		593

19. ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН 595

19.1.	Введение	595
19.2.	Свойства и классы пенообразователей	595
Литература		597

ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ OSPAR ДЛЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ 599

A.1.	Экотоксикологические правила Великобритании и Нидерландов в Северном море	603
A.2.	Норвежские офшорные экотоксикологические нормативы	604
Литература		606