

Д.Г. Антониади, А.М. Гапоненко,
Г.Т. Вартумян, Ю.Г. Стрельцова

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ
И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**



Д.Г. Антониади, А.М. Гапоненко, Г.Т. Вартумян, Ю.Г. Стрельцова

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ
И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Учебное пособие

**для студентов, бакалавров, магистров и аспирантов,
обучающихся по направлению «Нефтегазовое дело»**

Краснодар
2011

УДК 622.323(075.8)

ББК 33.361я73

С 56

Рецензенты:

*С.Б. Бекетов, доктор технических наук, профессор кафедры нефтегазового промысла
Кубанского государственного технологического университета;*

К.Э. Джалавов, кандидат технических наук, профессор «НК «Роснефть – НТЦ»

Современные технологии интенсификации добычи высоковязкой нефти и оценка эффективности их применения: учебное пособие для студентов, бакалавров, магистров и аспирантов, обучающихся по направлению «Нефтегазовое дело» / Д.Г. Антониади, А.М. Гапоненко, Г.Т. Вартумян, Ю.Г. Стрельцова; ГОУ ВПО «Кубан. гос. технол. ун-т». – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2011. – 420 с.

ISBN 978-5-91718-105-9

Приведены физические основы термических методов разработки нефтяных месторождений, механизмы паротпелового воздействия на пласт, пароциклических обработок призабойных зон и внутрипластового горения. Рассмотрены технологические особенности добычи нефти путем обработки призабойной зоны пласта кислотными растворами, теплового и физического воздействия, осложненного отложениями высокомолекулярных углеводородных соединений. Дана оценка влияния тепловых факторов и физико-химических свойств смолотпарафиновых соединений на интенсивность парафинизации. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний применения винтовых погружных насосов для добычи нефти; магнитных, тепловых, скребковых устройств для удаления асфальто-смолистых парафиновых отложений, дана оценка эффективности их применения.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов обучающихся по направлению «Нефтегазовое дело» (бакалавров, магистров, аспирантов) и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой нефтяных месторождений и добычей нефти.

Ил. 85, Табл. 75, Библиограф.: 30 назв.

Утверждено методическим советом Кубанского государственного технологического университета в качестве учебного пособия (протокол № 6 заседания методического совета университета от 22.02.2011 г.).

ББК 33.361я73

УДК 622.323(075.8)

ISBN 978-5-91718-105-9

© Д.Г. Антониади, 2011

© А.М. Гапоненко, 2011

© Г.Т. Вартумян, 2011

© Ю.Г. Стрельцова, 2011

© ООО «Издательский Дом – Юг», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Используемые сокращения	11
Предисловие	13
ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ	16
1.1 Системы разработки нефтяных месторождений	16
1.2 Промысловые и гидродинамические исследования скважин	17
1.3 Геофизические исследования скважин	20
1.4 Методы повышения нефтеотдачи и интенсификации притока	21
1.4.1 Методы повышения нефтеотдачи пластов	22
1.4.2 Физико-химические методы	23
1.4.3 Методы интенсификации притока	23
1.5 Технологические особенности и разновидности тепловых методов воздействия на пласт при добычи высоковязких нефтей .	26
1.5.1 Релаксационные свойства тяжелых нефтей	32
1.5.2 Геолого-физические требования к объектам термического воздействия	34
1.5.3 Основные критерии подбора объектов для ПТВ	37
1.5.4 Основные критерии подбора объектов для ВГ	38
1.5.5 Преимущества и недостатки паротеплового воздействия на пласт	38
1.5.6 Преимущества и недостатки процесса внутрислоевого горения	40
1.6 Оборудование для электрического прогрева скважин	41
1.7 Оборудование для паротепловой обработки призабойных зон скважин и нефтяных пластов	43
1.8 Оборудование для термической депарафинизации наземного и подземного оборудования скважин	51
ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ	56
2.1 Общие сведения	56
2.2 Классификация технических средств для добычи нефти и газа	61
2.3 Эксплуатация скважин фонтанным способом	64
2.4 Газлифтная эксплуатация скважин	66
2.5 Оборудование для насосной эксплуатации скважин	69
2.5.1 Установки погружных центробежных насосов с электроприводом	70
2.6 Винтовые насосы	73
2.6.1 Применение погружных винтовых насосов	82
2.6.2 Рабочие характеристики винтовых насосов	93

2.6.3	Установки погружных винтовых насосов зарубежного производства	94
2.6.4	Винтовые штанговые насосы	97
2.6.5	Установки штанговых винтовых насосов для добычи нефти .	98
2.6.6	Насосы для поддержания пластового давления	102
2.6.7	Гидроприводные винтовые насосы	102
2.6.8	Мультифазные и силовые насосы	105
2.7	Анализ причин разрушения эластомеров обойм винтовых насосов	107
2.8	Опыт внедрения установок электровинтовых насосов (УЭВН) в нефтедобывающих компаниях	114
2.8.1	Преимущества УЭЦН и УЭВН с ВЭД	114
2.8.2	Недостатки УЭВН	115
2.8.3	Экономия электроэнергии	117
2.8.4	Отечественный или импортные?	119

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

	НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ	123
3.1	Природные коллекторы нефти	123
3.2	Осадочные породы	123
3.3	Неоднородность пласта	125
3.3.1	Неоднородность слоистая	126
3.4	Глинистость	126
3.5	Гранулометрический состав породы	128
3.6	Удельная поверхность породы	128
3.7	Коллекторские свойства горных пород	129
3.7.1	Пористость	130
3.7.2	Проницаемость	132
3.7.3	Пористость и проницаемость трещиноватых пород	133
3.7.4	Коэффициент мобильности	134
3.7.5	Водонасыщенность (коэффициент водонасыщенности)	134
3.7.6	Нефтенасыщенность (коэффициент нефтенасыщенности) ...	135
3.8	Сжимаемость пород и пластовых жидкостей	135
3.9	Способ лабораторного определения коллекторских свойств образцов слабосцементированных и рыхлых пород, насыщенных высоковязкими нефтями	137
3.10	Способы разделения грубообломочных коллекторов	138
3.11	Фильтрационно-емкостные свойства однородных терригенных коллекторов	139
3.12	Фильтрационная способность пласта	141
3.13	Пьезопроводность	141
3.14	Течение нефти в капиллярах и трещинах	142
3.15	Способы лабораторного определения гидрофобности и электропроводности на образцах породы с естественной нефтенасыщенностью	144

3.16 Толщина пласта	146
3.17 Способ уточнения эффективных толщин тонкослоистых терригенных коллекторов по данным промыслово- геофизической оценки их истинной нефтеотдачи	147
3.18 Продуктивный пласт и его распространение	148
3.19 Расчлененность пласта	149
ГЛАВА 4. ПРИЧИНЫ УХУДШЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННО- ЕМКОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА	150
4.1 Загрязнение ПЗП во время вскрытия пласта	151
4.2 Загрязнение ПЗП в процессе эксплуатации скважин	152
4.3 Механизм закрепления твердых частиц в прифилтровой зоне скважины	153
4.4 Ухудшение гидропроводности ПЗП в результате глушения скважин	154
4.5 Вытеснение пластовой воды жидкостью глушения	155
4.6 Изменение фильтрационно-емкостной характеристики призабойной зоны пласта за счет парафинизации	156
4.7 Групповое деление основных факторов, ухудшающих гидропроводность ПЗП	157
ГЛАВА 5. ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТОВОЙ НЕФТИ	163
5.1 Нефть аномальная	165
5.2 Нефть окисленная	165
5.3 Нефть парафинистая	168
5.4 Нефть термическая	169
5.5 Нефть тяжелая	169
5.6 Релаксационные свойства тяжелых нефтей	170
5.7 Металлы в нефти	172
5.8 Давление насыщения	173
5.9 Объемный коэффициент нефти	174
5.10 Вязкость нефти	175
5.11 Плотность нефти	179
5.12 Температура насыщения пласта	180
5.13 Молекулярно-поверхностные явления в пористой среде	181
5.14 Капиллярные явления	182
ГЛАВА 6. ОБОСНОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЯНОЙ ПЛАСТ	183
6.1 Общие сведения	183
6.2 Физические основы термических методов воздействия	186
6.3 Пути совершенствования тепловых методов	187

6.4	Влияние различных факторов на нефтеотдачу пласта	188
6.5	Влияние типа нефти и свойств пласта на механизм вытеснения .	191
6.6	Влияние полноты вытеснения нефти при закачке горячего агента в пласт	192
6.7	Комбинированные методы теплового воздействия	193

ГЛАВА 7. ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН

7.1	Механизм пароциклических обработок призабойных зон добывающих скважин	198
7.1.1	Паротепловые обработки скважин	198
7.1.2	Парогазотепловые обработки скважин	203
7.1.3	Влияние различных параметров технологического процесса на эффективность ПТОС	205
7.1.4	Выбор объекта для ПТОС	207
7.1.5	Технологическая схема ПТОС	208
7.1.6	Качество закачиваемого теплоносителя	209
7.1.7	Темп закачки теплоносителя	209
7.1.8	Объем закачки теплоносителя	209
7.1.9	Паропропитка	210
7.1.10	Циклические паротепловые обработки в обводненных пластах	210
7.1.11	Результаты промысловых работ по паротепловым обработкам призабойных зон скважин	214

ГЛАВА 8. МЕХАНИЗМ ПАРОТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ

8.1	Основные положения	222
8.2	Влияние типа нефти и свойств пласта на механизм вытеснения	228
8.3	Влияние температуры на вытеснение высоковязкой нефти	229
8.4	Конвекция тепла в пласте	231
8.5	Тепловое расширение пластовых флюидов	232
8.6	Дистилляция паром	233
8.7	Фильтрационная способность пласта	234
8.8	Нагнетание высокотемпературной воды	234
8.9	Вытеснение нефти паром в присутствии подошвенной воды	236
8.10	Контроль за процессом паротеплового воздействия	239
8.11	Эффективность паротеплового воздействия	240
8.12	Значение коэффициента технологической эффективности при реализации процесса ПТВ	241

ГЛАВА 9. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ РАБОТАМИ	244
9.1 Планирование ремонтных работ	245
9.1.1 Организационно-экономическая сущность задачи	245
9.1.2 Постановка задачи "Планирование ремонтных работ"	247
9.1.3 Алгоритм решения задачи	254
9.1.4 Выходная информация	257
9.1.5 Входная информация к задаче "РЕМОНТ"	259
9.2 Оперативное управление ремонтом скважин	261
9.2.1 Организационно-экономическая сущность задачи "Оперативное управление ремонтом скважин"	261
9.2.2 Постановка задачи "Оперативное управление ремонтом скважин"	261
9.2.3 Алгоритм решения задачи	266
9.3 Выбор режимов проведения ГТМ	268
9.3.1 Организационно-экономическая сущность задачи	268
9.3.2 Постановка задач	269
9.3.3 Описание алгоритма построения классификатора	272
9.3.4 Выходная информация	273
9.3.5 Входная информация	273
9.4 Планирование запасов материалов и химических реагентов на ремонт скважин	275
9.4.1 Организационно-экономическая сущность задачи	275
9.4.2 Постановка задачи	275
9.4.3 Алгоритм решения задачи	277
9.4.4 Входная и выходная информации	279
9.5 Планирование и управление транспортными работами	279
9.5.1 Организационно-экономическая сущность задачи	280
9.5.2 Математическая постановка задачи	284
9.5.3 Алгоритм решения задачи	284
9.5.4 Входная и выходная информации	285
Приложение 1. Значения критерия Стьюдента	286
9.6 Выбор очередности и времени проведения геолого-технических мероприятий	287

ГЛАВА 10. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЕ АСФАЛЬТО-СМОЛОПАРОФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (АСПО) В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С АСПО	292
10.1 Влияние физико-химических свойств соединений на интенсивность парафинизации	292

10.2	Температурные факторы, определяющие условия образования смолотарафиновых отложений в призабойной зоне пласта	295
10.3	Характеристика пластовых температур и температур насыщения нефти парафином	295
10.4	Методические аспекты прогнозирования отложений тяжелых углеводородных соединений в призабойной зоне пласта	296
10.5	Технологические жидкости для комплексного воздействия на пласт	299
10.6	Условия отложения парафина	301
10.7	Состав и структура АСПО	305
10.8	Механизм образования АСПО	309
10.9	Методы предотвращения и борьбы с асфальтено-смолисто-парафиновыми отложениями. Их достоинства и недостатки	314
10.10	Оценка эффективности применения методов борьбы с асфальтосмолистопарафиновыми отложениями в ООО «РН-КРАСНОДАРНЕФТЕГАЗ»	318
10.11	Применение магнитной обработки нефти для борьбы с АСПО на фонде скважин ООО «РН-Краснодарнефтегаз»	329
10.11.1	Общая характеристика магнитных индукторов обработки нефти (устройство магнитное скважинное)	329
10.11.2	Анализ внедрения магнитных скважинных устройств на фонде ООО «РН-Краснодарнефтегаз»	330
10.11.3	Выводы расчета эффективности применения УМС, МИОН для борьбы с АСПО	330
10.12	Применение стационарной установки прогрева скважин для борьбы с АСПО на фонде скважин ООО «РН-Краснодарнефтегаз»	334
10.12.1	Общая характеристика стационарной установки прогрева скважин УПС «Фонтан»	334
10.12.2	Расчет проекта внедрения УПС «Фонтан» на фонде скважин ООО «РН-Краснодарнефтегаз», осложненного АСПО	336
10.13	Применение «лебедки Сулейманова» для борьбы с АСПО на фонде скважин ООО «РН-Краснодарнефтегаз»	340
10.13.1	Общая характеристика стационарной «лебедки Сулейманова»	340
10.13.2	Расчет эффективности внедрения проекта применения МДС «лебедки Сулейманова» на фонде скважин ООО «РН-Краснодарнефтегаз»	341

ГЛАВА 11. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДОБЫЧИ НЕФТИ	346
11.1 Общая энергетическая и экологическая характеристика термических методов	346
11.2 Обезвреживание газов ВГ	347
11.3 Основные направления повышения экономичности и экологичности промышленных парогенераторов	349
11.4 Утилизация тепла продуктов сгорания топлива промышленных парогенераторов	350
11.5 Утилизация тепла дымовых газов	353
11.6 Утилизация продуктов сгорания топлива	353
ГЛАВА 12. ВНЕДРЕНИЕ ПОГРУЖНЫХ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ НА ФОНДЕ СКВАЖИН ООО «РН-КРАСНОДАРНЕФТЕГАЗ» С ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТЬЮ, И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	354
12.1 Расчет экономической эффективности применения УЭВН на фонде скважин с вязкой и высоковязкой нефтью.....	358
ГЛАВА 13. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	361
13.1 Методические аспекты оценки инвестиционных проектов в нефтяной и газовой промышленности	361
13.2 Методические подходы к определению эффективности использования инвестиций	366
13.3 Методика технико-экономической оценки инвестиционных проектов	372
13.3.1 Критерии принятия решений в проектном анализе	378
ГЛАВА 14. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	393
14.1 Экономическая эффективность термических методов	393
14.2 Тепловая и гидродинамическая эффективность	396
14.3 Технологическая эффективность ПТВ	398
14.4 Коэффициент технологической эффективности ПТВ	399
14.5 Определение эффективности применения термических методов воздействия на стадии проектирования	400
14.6 Оценка эффективности применения термических методов воздействия на стадии внедрения	401
14.7 Технологическая эффективность ПТОС	403

14.8	Критерии эффективности паровых и парогазовых обработок призабойных зон нефтяных скважин	405
14.9	Пример определения технологической эффективности термического метода воздействия на пласт на Усинском месторождении	406
14.10	Пример определения технологической эффективности от применения влажного горения на площади Хорасаны	409
14.11	Энергетическая эффективность термических методов воздействия на пласт	411
14.12	Энергетическая эффективность при закачке в пласт горячей воды	414
	Список используемой литературы	418