

ББК 33.363я73  
УДК 622.276(075.8)  
Л61

Интернет-магазин  
**MAHESIS**

<http://shop.rcd.ru>

- физика
- математика
- биология
- нефтегазовые технологии

Рецензенты:

Заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом  
Уральского государственного горного университета,  
д.т.н., профессор Ю. И. Лель;

Профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений  
РГУ нефти и газа им И. М. Губкина,  
д.т.н., действительный член РАЕН Н. Н. Михайлов;

Профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых  
месторождений Альметьевского государственного нефтяного института,  
к.ф.-м.н. М. М. Мусин.

**Липаев А. А.**

Разработка месторождений тяжелых нефтей и природных битумов. —  
М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013. — 484 с.

Учебное пособие является дополнением и развитием традиционных учебников по разработке нефтяных месторождений. В нем рассмотрены вопросы классификации нефтей и методов их добычи, представлены опыт и современные технологии скважинной, открытой и шахтной систем разработки залежей тяжелых нефтей и природных битумов, методы контроля и пути решения экологических проблем, возникающих при этом, даны экономические аспекты комплексного освоения углеводородного сырья.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров 131000 «Нефтегазовое дело», аспирантов. Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам нефтегазовой промышленности.

**ISBN 978-5-4344-0127-2**

**ББК 33.363я73**

© А. А. Липаев, 2013

© Ижевский институт компьютерных исследований, 2013

<http://shop.rcd.ru>

## Содержание

Список сокращений.....	15
Предисловие.....	19
<b>РАЗДЕЛ I. Тяжелые нефти и природные битумы — особенности строения залежей и методов их разработки .....</b>	<b>23</b>
<b>Глава 1. Общие сведения о тяжелых нефтях и природных битумах. ....</b>	<b>23</b>
1.1. Проблемы терминологии и классификации нефтей .....	23
1.2. Ресурсная база тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов .....	30
1.3. Тяжелые высоковязкие нефти и природные битумы — ценное многокомпонентное сырье .....	38
1.4. Тепловые свойства горных пород и пластовых жидкостей .....	49
1.4.1. Методика определения тепловых свойств пород.....	50
1.4.2. Тепловые свойства горных пород .....	55
1.4.2.(1). Зависимости тепловых свойств минералов, горных пород от их состава и внутреннего строения .....	55
1.4.2.(2). Влияние на тепловые свойства пород нефтеводонасыщения .....	58
1.4.2.(3). Влияние термобарических условий пласта на тепловые характеристики горных пород .....	61
1.4.2.(4). Тепловые свойства пластовых жидкостей.....	65
1.4.3. Геотепловые модели нефтяных и битумных месторождений .....	68
<b>Глава 2. Типы залежей сверхвязких нефтей и природных битумов .</b>	<b>71</b>
<b>Глава 3. Классификация методов добычи тяжелых нефтей и природных битумов .....</b>	<b>77</b>
3.1. Очистные методы разработки ТВВН и ПБ.....	78
3.2. Фильтрационные методы разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов .....	80

<b>РАЗДЕЛ II. Скважинная (фильтрационная) разработка месторождений тяжелых нефтей и природных битумов .....</b>	<b>89</b>
<b>Глава 4. Скважинные методы нефтеизвлечения с тепловым воздействием на пласт и их физические основы .....</b>	<b>91</b>
4.1. Классификация тепловых методов добычи ТВВН и ПБ .....	91
4.2. Основные понятия и термины, применяемые при анализе и расчете тепловых методов разработки нефтяных месторождений .....	94
4.2.1. Теплота, температура. Виды передачи теплоты. Температурное поле. Градиент температуры .....	94
4.2.2. Основной закон теплопроводности. Коэффициенты тепло- и температуропроводности, теплоемкость. Тепловое расширение .....	97
4.2.3. Тепловые и другие свойства горных пород .....	98
4.2.4. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Коэффициент теплоотдачи. Энтальпия .....	99
4.3. Факторы влияющие на нефтебитумоизвлечение при тепловом воздействии на продуктивные пласты .....	100
4.4. Нагнетание в пласт теплоносителей .....	102
4.4.1. Характеристики теплоносителей .....	102
4.4.2. Вытеснение нефти горячей водой .....	106
4.4.3. Вытеснение нефти водяным паром .....	109
4.5. Генерация тепла в пласте .....	113
4.5.1. Внутрипластовое горение (ВГ). Общие закономерности .....	113
4.5.2. Термогазовая технология .....	117
<b>Глава 5. Технологии нагнетания в пласт теплоносителей .....</b>	<b>119</b>
5.1. Создание тепловой оторочки с последующим продвижением ее ненагретой водой (схема регенерации тепла) .....	119
5.2. Циклическое и блочно-циклическое воздействие .....	120
5.3. Площадное или рядное воздействие .....	121
5.4. Нагнетание парогазового теплоносителя .....	122
5.5. Особенности технологий разработки тяжелых высоковязких нефтей в карбонатных коллекторах путем закачки теплоносителей .....	123
5.5.1. Импульсно-дозированное тепловое воздействие (ИДТВ) и импульсно-дозированное тепловое воздействие с паузой (ИДТВП) на пласт .....	123
5.5.2. Теплоциклическое воздействие на нефтяной пласт (ТЦВП) и технология «больших треугольников» .....	128

5.5.3. Термополимерное воздействие на залежи высоковязкой нефти .....	134
5.5.4. Циклическое внутрипластовое полимерно-термическое воздействие (ЦВПТВ) .....	139
5.6. Использование горизонтальных скважин в проектах с приложением тепловых методов воздействия на пласты .....	142
5.6.1. Преимущества горизонтальных скважин по сравнению с вертикальными .....	142
5.6.2. Технология парогравитационного дренажа (SAGD) ....	146
5.6.3. Технология разработки ТН и ПБ с помощью вертикально-горизонтальной системы скважин .....	149
5.7. Термошахтные технологии.....	152
5.8. Паротепловое воздействие на пласт и паротепловые обработки призабойных зон скважин как взаимодополняющие технологии добычи высоковязкой нефти с использованием теплоносителей .....	153
5.9. Преимущества и недостатки методов нагнетания в пласт теплоносителей .....	157
<b>Глава 6. Технологии внутрипластового горения .....</b>	<b>159</b>
6.1. Разновидности процесса ВГ .....	159
6.1.1. Сухое прямоточное горение .....	159
6.1.2. Влажное внутрипластовое горение .....	161
6.1.3. Сверхвлажное внутрипластовое горение.....	163
6.1.4. Противоточное внутрипластовое горение .....	164
6.2. Геометрия и плотность сетки скважин при внутрипластовом горении .....	165
6.3. Технологический процесс ВГ и его параметры .....	165
6.4. Материальный баланс при внутрипластовом горении .....	172
6.5. Модифицированные способы внутрипластового горения .....	174
6.6. Проблемы и возможности применения технологий внутрипластового горения .....	178
<b>Глава 7. Комбинированные технологии .....</b>	<b>183</b>
<b>Глава 8. Основы проектирования разработки месторождений ТН и ПБ с применением скважинных тепловых методов.....</b>	<b>189</b>
8.1. Геолого-физические условия эффективного применения тепловых методов воздействия на нефтяные пласты .....	190
8.2. Критерии выбора объектов для тепловых методов воздействия на пласт и его призабойную зону .....	192

8.3. Предварительная (на стадии выбора объекта и технологии) оценка эффективности тепловых методов воздействия на пласт .....	194
8.4. Моделирование процессов тепловых методов разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов.....	197
8.4.1. Физическое моделирование тепловых процессов разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов.....	199
8.4.1(1). Экспериментальные исследования вытеснения нефти и битумов теплоносителями.....	199
8.4.1.(2). Экспериментальное изучение внутрипластового горения .....	203
8.4.2. Математическое моделирование тепловых процессов при разработке месторождений ТН и ПБ.....	204
8.4.2.(1). Математическая модель Х. А. Ловерье. Распределение температуры в пласте.....	204
8.4.2.(2). Распределение температуры в стволе и на забое скважины при нагнетании теплоносителей.....	213
8.4.2.(3). Тепловая эффективность процесса нагнетания в пласт теплоносителей. Модель Маркса–Лангенхейма .....	216
8.4.2.(4) Исследование теплового воздействия в слоистых нефтеводонасыщенных пластах, подстилаемых водяным пропластком, на основе компьютерной модели.....	220
8.5. Обоснование рациональных систем разработки при тепловых методах воздействия на пласт.....	229
8.5.1. Выбор принципиальных схем разработки при тепловом воздействии на пласт .....	229
8.5.2. Выделение объектов разработки .....	234
8.5.3. Выбор оптимальных параметров теплоносителя, нагнетаемого в пласт.....	235
8.5.4. Выбор плотности сетки скважин.....	239
8.5.5. Выбор объема оторочки.....	241
8.5.6. Выбор вариантов технологии .....	244
8.5.7. Особенности проектирования теплового воздействия на сложных объектах разработки.....	245
8.5.8. Исследование эффективности закачки теплоносителя в частично заводненный и послойно неоднородный пласт .....	245

8.5.9. Оптимизация разработки продуктивных пластов небольшой толщины с помощью системы горизонтальных скважин .....	247
<b>Глава 9. Контроль и регулирование тепловых процессов в нефтяном пласте .....</b>	<b>255</b>
9.1. Промыслово-геофизический метод контроля .....	257
9.2. Гидротермодинамические исследования по контролю за процессом внутрипластового горения .....	258
9.3. Термометрические исследования .....	258
9.4. Оценка охвата пласта .....	261
9.5. Гидродинамические исследования нагнетательных скважин по методу восстановления давления .....	263
9.6. Физико-химический контроль за процессом ВГ .....	263
9.7. Полевые геофизические методы .....	267
9.7.1. Магнитометрические методы контроля .....	268
9.7.2. Электрометрические методы контроля .....	270
9.8. Контроль за процессом паротеплового воздействия .....	272
<b>Глава 10. Экологические аспекты тепловых методов добычи тяжелых нефтей и природных битумов.....</b>	<b>281</b>
10.1. Уменьшение уровня энергопотребления и загрязнения окружающей среды .....	282
10.1.1. Обезвреживание газов горения .....	283
10.1.2. Утилизация тепла дымовых газов и повышение экономичности и экологичности парогенераторов.....	285
10.1.3. Охрана и рациональное использование водных ресурсов.....	286
10.2. Малоотходные природоохранные и энергосберегающие технологии .....	287
10.3. Основные экологические проблемы при освоении залежей ТН и ПБ (на примере Татарстана).....	287
<b>Глава 11. «Холодные» скважинные методы разработки месторождений ТН и ПБ.....</b>	<b>291</b>
<b>РАЗДЕЛ III. Рудничные и комбинированные методы разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов .....</b>	<b>299</b>
<b>Глава 12. Открытая (карьерная) разработка месторождений природных битумов .....</b>	<b>299</b>
12.1. Общие сведения.....	299

12.2. Понятие о карьере .....	302
12.3. Битумоносные породы как объект открытой (рудничной) разработки .....	307
12.3.1. Особенности геологического и инженерно-геологического изучения месторождений природных битумов .....	307
12.3.2. Физико-технические (механические) свойства битумоносных пород .....	309
12.3.3. Технологические характеристики нефтебитумоносных пород .....	316
12.4. Технологические процессы открытых горных работ по добыче битумоносных пород .....	321
12.4.1. Подготовка пород к выемке и требования к качеству горной массы в забое .....	321
12.4.2. Технологическая оценка производственных процессов и выбор средств механизации при разработке месторождений битумоносных пород .....	328
12.4.3. Уменьшение прочностных характеристик битумоносных песчаников физико-химическими способами .....	331
12.4.4. Осушение и водоотлив месторождений природных битумов и сверхвязких нефтей .....	333
12.4.5. Отвалообразование и рекультивация выработанного пространства .....	334
12.5. Системы открытой разработки и способы вскрытия месторождений битумоносных пород .....	338
12.5.1. Классификация систем открытой разработки .....	338
12.5.2. Элементы систем открытой разработки месторождений природных битумов .....	342
12.5.2(1). Оценка устойчивости откоса уступа и бортов карьера месторождений битумоносных пород .....	343
12.5.2(2). Обоснование запасов нефтебитумоносных пород, готовых к выемке .....	348
12.5.3. Параметры систем открытой разработки месторождений нефтебитумоносных пород .....	349
12.5.4. Способы вскрытия месторождений природных битумов .....	359
12.5.5. Коэффициент вскрыши и рентабельность карьерной разработки битумных месторождений .....	365
12.6. Оценка экологического влияния открытых горных работ на окружающую среду .....	366

<b>Глава 13. Шахтные методы разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов.....</b>	<b>369</b>
13.1. Шахты: основные понятия и определения.....	369
13.2. Краткий обзор опыта шахтной разработки нефтяных месторождений.....	373
13.3. Классификация шахтных методов разработки нефтяных и битумных месторождений.....	376
13.4. Горно-геологические условия для выбора шахтных методов разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов.....	378
13.5. Шахтно-дренажные методы разработки нефтяных месторождений.....	381
13.5.1. Дренаживание при помощи подземных выработок (штреков).....	381
13.5.2. Дренажно-скважинная система разработки.....	381
13.5.3. Стволово-скважинный дренажный способ разработки.....	384
13.5.4. Разработка нефтяных месторождений термошахтным способом.....	385
13.5.4(1). Целесообразность применения термошахтной разработки нефтяных и битумных месторождений.....	386
13.5.4(2). Анализ технологических показателей и основные системы термошахтной разработки трещиноватых залежей тяжелых нефтей.....	387
13.5.4(3). Особенности проектирования термошахтной разработки месторождений тяжелых углеводородов.....	398
13.5.4(4). Расчеты технологических показателей термошахтной разработки нефтяных месторождений.....	399
13.5.4(5). Основы контроля и регулирования термошахтной разработки нефтяных месторождений.....	407
13.6. Шахтные очистные системы разработки месторождений тяжелых нефтей и природных битумов.....	411
13.6.1. Сплошные системы разработки.....	412
13.6.2. Камерно-столбовые системы разработки.....	414
13.7. Перспективы применения шахтной добычи углеводородов..	416



Глава 14. Скважинная гидродобыча нефте- и битумоносных песчаников .....	419
<b>РАЗДЕЛ IV. Опыт и проблемы освоения запасов тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов.....</b>	<b>425</b>
Глава 15. Отечественный и зарубежный опыт разработки месторождений тяжелых углеводородов .....	425
15.1. Развитие технологий разработки ТН и ПБ в России.....	425
15.1.1. Опыт шахтной разработки месторождений тяжелой нефти в Коми.....	426
15.1.2. Создание внутрипластовых скважинных методов теплового воздействия на пласт .....	430
15.1.3. Совершенствование тепловых методов разработки месторождений тяжелых высоковязких нефтей Удмуртии.....	432
15.1.4. Опытно-промышленные работы по извлечению тяжелых нефтей и природных битумов в Татарстане....	437
15.2. Добыча тяжелых нефтей и природных битумов в Канаде .....	444
Глава 16. Проблемы подготовки и переработки тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов .....	449
Глава 17. Экономические аспекты освоения месторождений тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов .....	453
17.1. Особенности геолого-экономической и стоимостной оценки месторождений тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов, а также битумосодержащих пород .....	453
17.2. Пути повышения экономической эффективности освоения месторождений тяжелых нефтей и природных битумов.....	458
Заключение .....	459
Литература .....	479