

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	14
ЧАСТЬ 1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ	21
Глава 1. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ	23
1.1. Неравномерность газопотребления — объективная реальность в условиях Российской Федерации	24
1.2. Температурные условия, определяющие динамику поставок природного газа	30
1.3. Запасы газа в ПХГ	32
1.4. Определение суммарной величины необходимых запасов газа в ПХГ	34
1.5. Использование запасов газа в ПХГ в зависимости от климатических условий отопительного периода	35
1.6. Неравномерность потребления нефтепродуктов	38
1.7. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	40
Глава 2. СПОСОБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ	42
2.1. Рассольный способ эксплуатации подземных хранилищ жидких продуктов	43
2.1.1. Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием наземного рассолохранилища.....	45
2.1.2. Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием подземного рассолохранилища.....	47
2.1.3. Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием слоя разделительной жидкости	49

2.1.4.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием природных минерализованных вод	51
2.1.5.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием рапопосной линзы.....	51
2.1.6.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием морской воды	53
2.1.7.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием водонапорного горизонта.....	55
2.2.	Распределение давления хранимого продукта и рассола по высоте резервуара.....	57
2.3.	Рассольный способ эксплуатации подземных хранилищ газообразных продуктов	60
2.4.	Безрассольный способ эксплуатации подземных хранилищ жидких продуктов	63
2.4.1.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с использованием энергии сжатого газа ..	63
2.4.2.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с постоянным давлением вытесняющего газа в резервуаре.....	64
2.4.3.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с переменным давлением вытесняющего газа в резервуаре.....	66
2.5.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с применением специального оборудования	71
2.5.1.	Эксплуатация подземных хранилищ жидких продуктов с применением погружных насосов	71
2.5.2.	Струйные установки для отбора жидких продуктов из подземных резервуаров.....	73
2.6.	Безрассольный способ эксплуатации подземных хранилищ газообразных продуктов	76
2.6.1.	Бескомпрессорный способ эксплуатации подземных хранилищ газообразных продуктов	77
2.6.2.	Компрессорный способ эксплуатации подземных хранилищ газообразных продуктов	79

2.6.3.	Эксплуатация подземных хранилищ газообразных продуктов с применением механических компрессоров при отборе продукта.....	79	
2.6.4.	Эксплуатация подземных хранилищ газообразных продуктов с применением газоструйных компрессоров.....	81	
2.6.5.	Закачка газа в подземные резервуары с использованием газоструйных компрессоров.....	82	
2.6.6.	Отбор газа из подземных резервуаров с использованием газоструйных компрессоров.....	84	
2.7.	Комбинированный способ эксплуатации подземных хранилищ газообразных и жидких продуктов.....	89	
2.7.1.	Комбинированный способ эксплуатации подземного хранилища с индивидуальными скважинами для каждого резервуара.....	91	
2.7.2.	Комбинированный способ эксплуатации подземного хранилища с одной скважиной для двух выработок-емкостей.....	93	
2.8.	Вопросы для самостоятельной подготовки.....	95	
Глава 3. ТЕПЛО- И МАССООБМЕН ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ.....			101
3.1.	Теплообмен при эксплуатации подземного резервуара, полностью заполненного хранимым продуктом.....	103	
3.1.1.	Свободная тепловая конвекция в вертикальном цилиндрическом подземном резервуаре.....	105	
3.1.2.	Тепловые и гидродинамические характеристики свободной тепловой конвекции в подземном резервуаре.....	110	
3.1.3.	Турбулентная конвекция в резервуаре, полностью заполненном хранимым продуктом.....	119	
3.2.	Тепло- и массообмен при эксплуатации подземного резервуара, частично заполненного хранимым продуктом.....	123	
3.2.1.	Сопряженный ламинарный теплообмен в двухслойной системе.....	124	
3.2.2.	Модельная задача о диффузионном слое.....	125	

3.2.3.	Тепловая конвекция в двухслойной системе	131
3.2.4.	Результаты численного моделирования	136
3.2.5.	Конвективный теплообмен в двухслойной системе	141
3.2.6.	Турбулентная конвекция в двухслойной системе «жидкость–газ»	144
3.3.	Вопросы для самостоятельной подготовки	152
Глава 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАССОЛОХРАНИЛИЩ		154
4.1.	Эксплуатация наземных рассолохранилищ	155
4.1.1.	Процесс ледообразования на рассолохранилищах ..	156
4.1.2.	Концентрация рассола под ледяным покровом	161
4.1.3.	Толщина ледяного покрова на пресной воде и рассоле для различных климатических условий ..	163
4.1.4.	Водный баланс рассолохранилищ	172
4.1.5.	Солевой баланс рассолохранилищ	177
4.1.6.	Тепловой и радиационный баланс рассолохранилищ	183
4.1.7.	Общее уравнение теплового баланса земной поверхности	184
4.1.8.	Уравнение теплового баланса рассолохранилища ..	186
4.1.9.	Радиационный баланс рассолохранилища	194
4.1.10.	Внешний теплообмен в рассолохранилище	195
4.1.11.	Изменение теплоемкости рассола в рассолохранилище	197
4.1.12.	Поддержание стабильной концентрации и количества рассола в наземном рассолохранилище	201
4.1.13.	Рекомендации по поддержанию стабильной концентрации и стабильного объема рассола в рассолохранилище в условиях резко континентального климата	203
4.2.	Эксплуатация подземных рассолохранилищ	205
4.3.	Вопросы для самостоятельной подготовки	212
Глава 5. ПЕРВОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ХРАНИЛИЩ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ		215

5.1. Технологические операции первоначального заполнения подземного резервуара хранимым продуктом.....	217
5.2. Процесс отбора рассола из подземного резервуара при первоначальном заполнении природным газом	225
5.2.1. Физическое моделирование процесса отбора рассола из резервуара.....	226
5.2.2. Результат численного моделирования процесса отбора рассола из резервуара	230
5.3. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	233
Глава 6. КОМПЛЕКС РАБОТ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМУ, ГЕОФИЗИЧЕСКОМУ И ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ СОПРОВОЖДЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ.....	235
6.1. Контроль технологических параметров подземных резервуаров в процессе их эксплуатации	237
6.2. Технический контроль состояния эксплуатационных скважин.....	239
6.3. Газогеохимические исследования	242
6.4. Мониторинг подземных вод	247
6.5. Мониторинг поверхностных вод.....	249
6.6. Мониторинг дневной поверхности в границах горного отвода подземного хранилища	252
6.7. Мониторинг атмосферного воздуха.....	256
6.8. Шумовое воздействие подземных хранилищ на окружающую среду	264
6.9. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	266
ЧАСТЬ 2. ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА И КОЛИЧЕСТВА ХРАНИМОГО ПРОДУКТА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА	269
Глава 7. ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ, СОЗДАНЫХ В ОТЛОЖЕНИЯХ КАМЕННОЙ СОЛИ	271
7.1. Механизм изменения влажности природного газа, находящегося в подземном резервуаре	274

7.2.	Моделирование процесса изменения влажности природного газа при эксплуатации подземных хранилищ ..	278
7.3.	Изменение влажности природного газа в процессе его закачки в подземный резервуар	291
7.4.	Изменение влажности природного газа в процессе его хранения в подземном резервуаре	299
7.5.	Изменение влажности природного газа в процессе его отбора из подземного резервуара	306
7.6.	Вопросы для самостоятельной подготовки.....	314
Глава 8. СРОКИ ХРАНЕНИЯ ГАЗОНЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ, СОЗДАНЫХ В ОТЛОЖЕНИЯХ КАМЕННОЙ СОЛИ.....		
		316
8.1.	Сроки хранения жидких нефтепродуктов	316
8.2.	Сроки хранения газообразных продуктов.....	320
8.3.	Вопросы для самостоятельной подготовки.....	321
Глава 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ		
		323
9.1.	Определение герметичности эксплуатационной скважины	324
9.2.	Определение герметичности подземного резервуара	326
9.2.1.	Определение герметичности подземного резервуара с применением метода подземного баланса испытательного флюида	330
9.2.2.	Определение герметичности подземного резервуара с применением компенсационного метода	332
9.2.3.	Определение герметичности подземного резервуара с применением метода наземного баланса испытательного флюида	337
9.2.4.	Определение герметичности подземного резервуара с применением термодинамического метода.....	337
9.3.	Вопросы для самостоятельной подготовки.....	340
Глава 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВМЕСТИМОСТИ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ		
		342
10.1.	Методы определения вместимости подземных резервуаров газообразных продуктов	343

10.2. Термодинамический метод определения вместимости подземного резервуара.....	348
10.3. Необходимое количество газа, закачиваемого в подземный резервуар для определения его вместимости.....	353
10.4. Определение средней температуры газа по стволу скважины и в выработке-емкости	354
10.5. Выбор уравнения состояния природного газа	356
10.6. Определение коэффициента сжимаемости и его производных	359
10.7. Определение давления газа, находящегося в подземной выработке-емкости	360
10.8. Время выстаивания подземного резервуара	362
10.9. Погрешность определения вместимости подземного резервуара	363
10.10. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	366
ЧАСТЬ 3. РЕМОНТ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ	369
Глава 11. КОНСТРУКЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ.....	371
11.1. Критерии, характеризующие эксплуатационные свойства скважин подземных резервуаров	372
11.2. Анализ выбора конструкции эксплуатационной скважины	374
11.3. Конструкция эксплуатационных скважин подземных резервуаров газообразных и жидких продуктов.....	382
11.4. Компоновка эксплуатационной скважины подземных резервуаров жидких продуктов.....	386
11.5. Компоновка эксплуатационной скважины подземных резервуаров газообразных продуктов.....	391
11.6. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	397
Глава 12. РЕМОНТ СКВАЖИН ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ	399
12.1. Восстановление герметичности технологических скважин, нарушенной у банмака основной обсадной колонны.....	401

12.1.1.	Ремонт скважин с установкой моста на участке «шеи» подземного резервуара	402
12.1.2.	Ремонт скважин с применением способа кристаллизации соли	403
12.1.3.	Определение основных параметров технологии ремонта скважин с применением способа кристаллизации соли	405
12.2.	Восстановление герметичности технологических скважин, нарушенной вышле башмака основной обсадной колонны	413
12.2.1.	Ремонт скважин с перфорацией основной обсадной колонны	414
12.2.2.	Ремонт скважин с вырезанием участков основной обсадной колонны.....	416
12.3.	Вопросы для самостоятельной подготовки	418
ЧАСТЬ 4. КОНСЕРВАЦИЯ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ		419
Глава 13. КОНСЕРВАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ		421
13.1.	Консервация подземного резервуара	422
13.2.	Консервация выработки-емкости	422
13.3.	Консервация технологической скважины	423
13.4.	Промышленная безопасность, техника безопасности, промышленная санитария и противопожарные мероприятия при консервации подземного резервуара	426
13.5.	Мероприятия по охране окружающей среды при консервации подземного резервуара	427
13.6.	Вопросы для самостоятельной подготовки	430
Глава 14. ЛИКВИДАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ		433
14.1.	Ликвидация подземного резервуара	434
14.2.	Ликвидация выработки-емкости	435
14.3.	Ликвидация технологической скважины.....	436
14.4.	Ликвидация наземного технологического комплекса.....	439
14.5.	Промышленная безопасность, техника безопасности, промышленная санитария и противопожарные мероприятия при ликвидации подземного резервуара.....	439

- 14.6. Мероприятия по охране окружающей среды при ликвидации подземного резервуара.....440
- 14.7. Вопросы для самостоятельной подготовки.....442

ЧАСТЬ 5. ПРИМЕНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ЭКОНОМИКИ445

Глава 15. ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ГАЗОВОЙ И НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....447

- 15.1. Подземные хранилища газов и жидкостей, используемые в газовой промышленности448
- 15.1.1. ПХГ в каменной соли450
- 15.1.2. Подземные хранилища газов и жидкостей при газоперерабатывающих заводах.....453
- 15.1.3. Подземные резервуары, используемые для продувки газонефтяных скважин467
- 15.1.4. Подземные резервуары для утилизации низкопарных газов.....471
- 15.1.5. Применение подземных резервуаров для промышленной подготовки газа к транспортировке473
- 15.1.6. Технологический комплекс по производству газозадушенной смеси476
- 15.2. Подземные хранилища, используемые в нефтяной промышленности и в системе снабжения нефтепродуктами.....480
- 15.2.1. Подземное хранилище нефтепродуктов481
- 15.2.2. Подземное хранилище сырой нефти.....486
- 15.2.3. Подземное хранилище мазута488
- 15.2.4. Применение подземных резервуаров для промышленной подготовки нефти493
- 15.3. Вопросы для самостоятельной подготовки.....501

Глава 16. ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ГАЗОВ И КОМПЛЕКСЫ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ	504
16.1. Традиционные воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции	504
16.2. Бестопливные воздушно-аккумулирующие газотурбинные электростанции	520
16.3. Режимы эксплуатации подземных хранилищ воздуха.....	523
16.4. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	531
Глава 17. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ	534
17.1. Ветряные электростанции.....	535
17.1.1. Интеграция ветряной электростанции с гидроаккумулирующей	537
17.1.2. Интеграция ветряной электростанции с воздушно-аккумулирующей	540
17.1.3. Интеграция ветряной электростанции с производством водорода	541
17.2. Солнечные электростанции	543
17.2.1. Интеграция солнечной электростанции с воздушно-аккумулирующей	545
17.2.2. Интеграция солнечной электростанции с производством водорода	547
17.3. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	549
Глава 18. ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ГАЗА ПРИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ	551
18.1. Подземное хранение водорода	552
18.2. Подземное хранение кислорода	562
18.3. Подземные резервуары для производства водорода и кислорода	565
18.4. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	568
ГЛАВА 19. ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ И ЭКОЛОГИЯ	570
19.1. Подземные резервуары для захоронения двуокиси углерода.....	570

19.2. Использование двуокиси углерода в качестве рабочего тела.....	577
19.3. Подземные резервуары для захоронения промышленных отходов, включая радиоактивные	580
19.4. Вопросы для самостоятельной подготовки.....	587
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХРАНИМЫХ ПРОДУКТОВ.....	591
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ВМЕЩАЮЩИХ ПОДЗЕМНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ.....	614
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИИ И РАСТВОРИМОСТЬ МЕТАНА В ХРАНИМЫХ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДАХ	634
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. РАСЧЕТ ВМЕСТИМОСТИ ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА ГАЗА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ.....	637
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	658