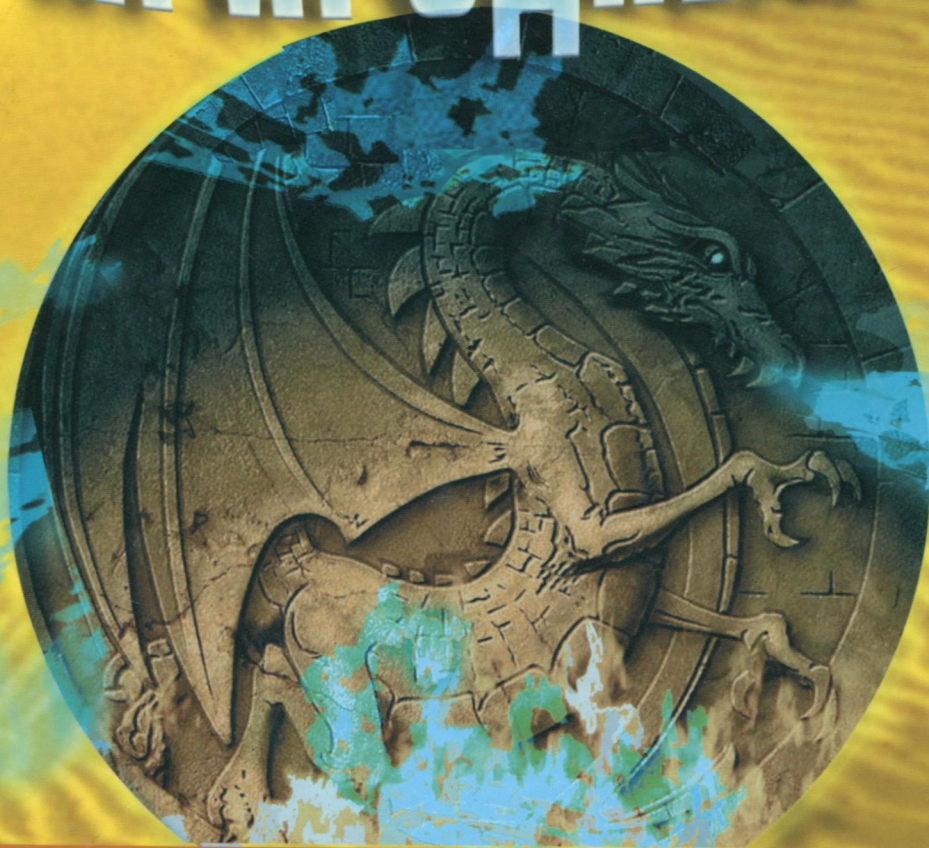




ПРИРОДНЫЙ ГАЗ



ББК 26.343
31.354

Авторы: канд. техн. наук С.Ю. Пирогов,
канд. техн. наук Л.А. Акулов,
канд. техн. наук М.В. Ведерников,
д-р техн. наук Н.Г. Кириллов,
канд. техн. наук И.В. Наумчик,
канд. хим. наук И.В. Соколова,
канд. техн. наук А.П. Софьин

П77 **Природный газ. Метан:** Справ. / С.Ю. Пирогов, Л.А. Акулов, М.В. Ведерников и др. —
СПб.: НПО «Профессионал», 2006. — 848 с.

ISBN 5-91259-007-0

В справочнике приведены важнейшие сведения о физико-химических, теплофизических, теплотехнических, оптических, электрических, магнитных и других свойствах природного газа и его составляющих, показаны особенности процесса горения водорода. Даны характеристики различных способов получения, хранения и транспортирования различных видов природного газа, показана его совместимость с определенными конструкционными и уплотнительными материалами. Рассмотрены области, конкретные примеры и перспективы применения природного газа в различных отраслях промышленности, а также проблемы экологии при его широком использовании в качестве основного перспективного энергоносителя. Особое внимание обращено на условия безопасного обращения с природным газом.

Справочник предназначен для специалистов химической, нефтехимической, авиационной промышленности, ракетостроения и др., преподавателей вузов и техникумов, студентов.

**ББК 26.343
31.354**

По вопросу приобретения книги просим обращаться
непосредственно в издательство «Профессионал»:
197341, Санкт-Петербург, ул. Горная, д. 1, корп. 1, оф. 22-Н.
Тел.(факс): 601-30-70; 601-32-48; 601-32-49
mail@naukaspb.ru, www.naukaspb.ru

Все права защищены и принадлежат издателю

ISBN 5-91259-007-0

© НПО «Профессионал», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3	2.3. Химический состав природного газа (С.Ю. Пирогов).....	53
1. Природный газ как сырьевая база энергетического комплекса (С.Ю. Пирогов)	5	2.3.1. Классификация природного газа по химическому составу	53
1.1. Что такое природный газ?.....	5	2.3.2. Химический состав природного газа газовых и газоконденсатных залежей	56
1.2. Краткие исторические сведения об освоении природного газа	6	2.3.3. Химический состав природного газа растворенного в нефти и пластовых водах	57
1.3. Общие сведения о природном газе.....	9	2.3.4. Химический состав природного газа угленосных бассейнов	58
1.4. Запасы и ресурсы органического горючего	15	2.3.5. Химический состав природного газа кристаллических и метаморфических пород	59
Литература	19	2.3.6. Изотопный состав природного газа	60
2. Основные источники природного газа	20	2.4. Современные ресурсы природного газа (С.Ю. Пирогов).....	62
2.1. Распространение и условия нахождения природного газа (С.Ю. Пирогов).....	20	2.4.1. Залежи природного газа и их основные классификационные признаки и параметры.....	62
2.1.1. Классификация природного газа по условиям нахождения в природе	22	2.4.2. Промышленные типы месторождений и залежей	69
2.1.2. Метан в космосе	23	2.4.3. Классификация запасов и ресурсов природного газа.....	77
2.1.3. Природный газ в атмосфере Земли.....	24	2.4.3.1. Классификация запасов и ресурсов природного газа в России	77
2.1.4. Природный газ в гидросфере Земли.....	31	2.4.3.2. Классификация запасов и ресурсов природного газа в зарубежных странах	80
2.1.5. Природный газ в литосфере Земли	33	2.4.4. Традиционные ресурсы природного газа	82
2.2. Генетические концепции и виды происхождения природного газа (С.Ю. Пирогов).....	37	2.4.5. Нефтегазогеологическое районирование	83
2.2.1. Генетические классификации природного газа	37	2.4.5.1. Обзор газоносных регионов России	85
2.2.2. Микробиологический генезис природного метана	38	2.4.6. Нетрадиционные ресурсы природного газа и перспективы их использования.....	89
2.2.3. Органо-термокатагенный и органо-термокаталитический генезисы природного газа.....	40	2.4.6.1. Классификация нетрадиционных источников природного газа	89
2.2.4. Органо-радиационно-химический генезис природного газа	46		
2.2.5. Органо-механохимический генезис природного газа	46		
2.2.6. Метаморфический генезис природного газа	47		
2.2.7. Абиогенный мантийный генезис природного газа	47		
2.2.8. Основные концепции генезиса природного газа	49		

2.4.6.2. Оценка ресурсов нетрадиционных источников природного газа.....	94	3. Физико-химические свойства природного газа (И.В. Наумчик, С.Ю. Пирогов, И.В. Соколова, А.П. Софьин)....	145
2.4.6.3. Краткая характеристика наиболее значимых нетрадиционных ресурсов природного газа	95		3.1. Общие сведения о физико-химических свойствах природного газа.....
2.5. Общие сведения о разработке газовых месторождений (А.П. Софьин).....	104	3.1.1. Состав природных газов.....	145
2.5.1. Исследование месторождений.....	104	3.1.2. Основные параметры природного газа	146
2.5.2. Размещение скважин	106	3.1.2.1. Плотность.....	146
2.5.3. Оборудование газовых скважин.....	106	3.1.2.2. Давление.....	146
2.5.3.1. Геологические условия бурения	107	3.1.2.3. Удельная внутренняя энергия	147
2.5.3.2. Оценка проходимости колонн обсадных труб по стволу скважины	107	3.1.2.4. Температура газа и ее связь с удельной внутренней энергией	147
2.5.3.3. Выбор диаметров эксплуатационных колонн.....	108	3.1.2.5. Энтальпия.....	147
2.5.3.4. Оборудование скважин для добычи газа, содержащего агрессивные компоненты.....	109	3.1.2.6. Энтропия	148
2.5.3.5. Оборудование устья.....	110	3.1.2.7. Скорость звука в газе	148
2.5.3.6. Оборудование забоя.....	111	3.1.3. Основы молекулярно-кинетической теории газов	148
2.5.3.7. Перфорация газовых скважин.....	111	3.1.4. Основные газовые законы.....	150
2.5.4. Схемы сбора газа	113	3.1.4.1. Закон Бойля — Мариотта	150
2.5.5. Периоды разработки и режимы газовых и газоконденсатных месторождений.....	116	3.1.4.2. Закон Дальтона	150
2.5.6. Методы увеличения производительности газовых скважин.....	118	3.1.4.3. Закон Гей-Люссака	150
2.6. Подготовка и переработка природного газа (С.Ю. Пирогов).....	119	3.1.4.4. Закон Шарля.....	150
Литература.....	123	3.1.4.5. Закон Авогадро.....	150
Приложение 2.1. Классификации природных газов по условиям нахождения, химическому составу и генезису.....	126	3.1.4.6. Объединенный закон Мариотта — Гей-Люссака.....	151
Приложение 2.2. Крупнейшие газовые месторождения мира	128	3.1.5. Уравнение состояния идеальных газов и газовая постоянная	151
Приложение 2.3. Характеристика газов газовых месторождений РФ и СНГ.....	129	3.1.6. Уравнение состояния реальных газов	152
Приложение 2.4. Характеристика газов некоторых газовых месторождений зарубежных стран	139	3.1.7. Основные параметры газовых смесей.....	158
Приложение 2.5. Характеристика газов нефтяных месторождений РФ	141	3.1.7.1. Молекулярная масса смеси.....	159
Приложение 2.6. Перечень стандартов по требованиям к качеству газа и его испытанию	143	3.1.7.2. Парциальное давление и парциальный объем смеси идеальных газов	159
		3.2. Общие сведения о физико-химических свойствах сжиженного природного газа.....	160
		3.2.1. Зависимость между составом сжиженного природного газа и его свойствами.....	160
		3.2.2. Плотность	162
		3.2.2.1. Плотность сжиженного метана.....	162
		3.2.2.2. Плотность сжиженного природного газа.....	163

3.3. Термодинамические свойства природного газа	169	3.5.3. Вязкость сжиженного природного газа	234
3.3.1. Теплоемкость	169	3.6. Теплопроводность природного газа	235
3.3.1.1. Приближенные формулы для вычисления теплоемкости	169	3.6.1. Теплопроводность природного газа при различных условиях	235
3.3.1.2. Спектроскопические константы для основных углеводородов метанового ряда	170	3.6.2. Теплопроводность жидкого метана	238
3.3.1.3. Теплоемкость углеводородов метанового ряда C_nH_{2n+2}	171	3.6.3. Теплопроводность сжиженного природного газа	239
3.3.1.4. Изобарная теплоемкость природных газов	175	3.7. Влагосодержание и гидраты природных газов	239
3.3.2. Энтальпия (теплосодержание) и энтропия	175	3.7.1. Влагосодержание	239
3.3.3. Коэффициент Джоуля — Томсона	185	3.7.2. Гидраты	241
3.3.4. Уравнения состояния и расчет таблиц термодинамических свойств природного газа	187	3.7.2.1. Общие сведения	241
3.3.4.1. Метод составления единого уравнения состояния	187	3.7.2.2. Условия образования и параметры существования	243
3.3.4.2. Метод расчета таблиц термодинамических свойств	191	3.8. Химические свойства соединений, входящих в состав природного газа	247
3.3.4.3. Определение термодинамических свойств природного газа	193	3.8.1. Строение молекул простейших алканов	247
3.3.5. Теплоемкость сжиженного природного газа и его компонентов	203	3.8.2. Способы получения алканов	248
3.3.6. Теплота фазового перехода	203	3.8.3. Химические свойства алканов	249
3.3.7. Фазовые равновесия и фазовые превращения в системах природных углеводородов	204	Литература	251
3.3.7.1. Давление насыщенных паров	204	Приложение 3.1. Соотношение между физическими единицами в различных системах	256
3.3.7.2. Явления обратной конденсации и испарения	207	Приложение 3.2. Соотношение единиц физических параметров газа и жидкости	258
3.3.8. Фазовые равновесия в смесях <i>n</i> -парафинов	208	Приложение 3.3. Применяемые температурные шкалы	261
3.3.8.1. Общие положения	208	Приложение 3.4. Требования к составу сжиженного природного газа	262
3.3.8.2. Особенности фазовых диаграмм трех- и многокомпонентных систем	210	4. Горение природного газа (И.В. Соколова, А.П. Софьин, М.В. Ведерников)	263
3.3.8.3. Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах	222	4.1. Условия воспламенения горючих смесей	263
3.4. Акустические, оптические и электрические свойства природного газа	225	4.2. Самовоспламенение природного газа	267
3.5. Вязкость природного газа	227	4.3. Физико-химические особенности горения природного газа	274
3.5.1. Вязкость природного газа при различных условиях	227	4.3.1. Горение природного газа	274
3.5.2. Вязкость жидкого метана	233	4.3.1.1. Профили скоростей реакций в метан-кислородных пламенах	274
		4.3.1.2. Пламя метана	275
		4.3.1.3. Нормальная скорость распространения пламени	280
		4.3.1.4. Наивысшая температура пламени различных газов	283

4.3.1.5. Ингибирование горения метана	283	4.4.8. Детонация, возбуждаемая ускоряющимися пламенами	320
4.3.2. Количественные характеристики горения.....	286	4.4.9. Влияние диаметра трубы на длину преддетонационного участка.....	322
4.3.2.1. Теплота сгорания газов	286	Литература.....	323
4.3.2.2. Состав, количество и характеристики продуктов сгорания.....	291	5. Ожижение природного газа (Л.А. Акулов)...	325
4.3.2.3. Жаропроизводительность, калориметрическая, теоретическая и расчетная температура горения газов.....	293	5.1. Характеристика природных газов, которые могут быть использованы для получения СПГ	327
4.3.3. Особенности сжигания газов в установках.....	297	5.2. Осушка и очистка природных газов.....	330
4.3.3.1. Отрыв пламени от огневых отверстий.....	297	5.2.1. Осушка природных газов.....	330
4.3.3.2. Обратный удар пламен.....	299	5.2.2. Очистка природных газов.....	335
4.3.3.3. Предотвращение химического недожога	299	5.3. Сжижение природного газа.....	336
4.3.3.4. Влияние расстояния между огневыми отверстиями на процесс горения	300	5.3.1. Основные криогенные циклы, применяемые для ожижения ПГ	337
4.3.3.5. Глубина огневых отверстий.....	301	5.3.1.1. Дроссельные циклы ожижения природного газа	338
4.3.3.6. Высота внутреннего конуса пламени.....	301	5.3.1.2. Детандерные циклы ожижения природного газа.....	344
4.3.3.7. Высота наружного конуса пламени.....	301	5.3.1.3. Каскадные циклы ожижения природного газа.....	357
4.3.4. Взаимозаменяемость газов.....	302	5.3.2. Ожижители ПГ и крупные заводы по производству СПГ	368
4.3.5. Химическое равновесие реакций горения метана	303	5.4. Регазификация природного газа	380
4.4. Детонационное горение природного газа	308	5.4.1. Основные направления утилизации холода СПГ	381
4.4.1. Оценка пределов детонации с помощью гомологической гипотезы.....	314	5.4.2. Использование холода СПГ для ожижения газообразных криопродуктов	383
4.4.2. Детонация в смесях с окислителями, отличными от кислорода.....	315	5.4.3. Использование холода СПГ для повышения эффективности работы отдельных узлов ВРУ.....	387
4.4.3. Влияние начальных давления и температуры на детонационную способность	315	5.4.4. Воздухоразделительные установки, предназначенные для получения жидких криопродуктов, использующие холод СПГ	388
4.4.4. Влияние добавок на детонационную способность.....	316	5.4.5. Утилизация холода СПГ в установках разделения воздуха для получения газообразных продуктов разделения	403
4.4.5. Детонация газозвесей, образуемых каплями жидкостей в атмосфере окислителя	316	Литература.....	407
4.4.6. Инициирование детонационных волн	317	6. Хранение и транспортировка природного газа (И.В. Наумчик)	412
4.4.7. Детонационные волны в неогра- ниченных газовых облаках	318	6.1. Хранение природного газа	412
		6.1.1. Хранение газообразного природного газа	412

6.1.1.1. Газгольдеры.....	412	7. Основные направления применения природного газа	484
6.1.1.2. Подземные хранилища природного газа	413	7.1. Применение природного газа в технике (<i>И.В. Наумчик, Н.Г. Кириллов</i>)	484
6.1.1.3. Техничко-экономические показатели хранилищ и области их применения.....	419	7.1.1. Нефть как основной вид моторного топлива и перспективы его применения	485
6.1.2. Хранение сжиженного природного газа.....	423	7.1.2. Альтернативные виды моторных топлив и перспективы их использования в России.....	486
6.1.2.1. Баллоны	423	7.1.3. Анализ экономической и экологической эффективности альтернативных моторных топлив.....	501
6.1.2.2. Полуперемещаемые резервуары.....	425	7.1.4. Природный газ как моторное топливо: газ сжатый или газ сжиженный?	503
6.1.2.3. Стационарные резервуары для сжиженных газов вместимостью до 5 м ³	427	7.1.4.1. Сравнение СПГ и КПГ.....	504
6.1.2.4. Резервуары большой вместимости	429	7.1.4.2. Некоторые технические аспекты применения природного газа на автотранспортных средствах	505
6.1.2.5. Железобетонные низкотемпературные резервуары.....	433	7.1.4.3. Природный газ и проблемы экологизации автомобильного транспорта России.....	507
6.2. Транспортировка природного газа.....	436	7.1.5. Газовые автомобильные и судовые двигатели.....	511
6.2.1. Газотранспортная система	436	7.1.5.1. Газобензиновые автомобильные двигатели.....	511
6.2.1.1. Реконструкция газотранспортной системы	439	7.1.5.2. Газовый двигатель повышенной мощности	512
6.2.1.2. Новые технологии и использование вторичных энергоресурсов.....	443	7.1.5.3. Газодизель фирмы «Фуджи».....	515
6.2.1.3. Потери природного газа в газотранспортной системе	448	7.1.5.4. Судовой газодизель.....	516
6.2.2. Транспорт для доставки сжиженных газов.....	452	7.1.5.5. Газодизель фирмы «Зульцер».....	517
6.2.2.1. Железнодорожные цистерны и крытые вагоны	453	7.1.5.6. Автотракторные газодизели.....	520
6.2.2.2. Автомобильные цистерны	456	7.1.6. Применение природного газа в качестве авиатоплива	525
6.2.2.3. Автомобили для перевозки баллонов	459	7.1.7. Природный газ — моторное топливо для тепловозов	529
6.2.2.4. Водный транспорт	461	7.1.8. Жидкостные ракетные двигатели на природном газе	533
6.2.2.5. Авиационный транспорт.....	463	7.2. Использование газа в промышленности (<i>И.В. Наумчик</i>).....	535
6.2.2.6. Трубопроводы	464	7.2.1. Использование газа в машиностроении.....	535
6.3. Теплоизоляционные материалы.....	472	7.2.2. Использование газа в промышленности строительных материалов.....	541
6.3.1. Конструкции теплоизоляционных покрытий.....	472	7.2.2.1. Производство стекла.....	542
6.3.2. Классификация теплоизоляционных материалов.....	472	7.2.2.2. Производство строительной керамики	544
6.3.3. Теплоизоляция трубопроводов и резервуаров.....	476		
6.3.4. Изоляционные материалы для антикоррозионной защиты газопроводов.....	479		
Литература	483		

7.2.2.3. Производство санитарно-технического оборудования.....	551	7.4.2.3. Углекислотная («сухая») конверсия метана.....	594
7.2.3. Использование газа в химической промышленности	555	7.4.3. Современные процессы получения химических продуктов из синтез-газа	596
7.2.3.1. Основные предпосылки создания типовых технологических схем газохимических комплексов	557	7.4.3.1. Синтез Фишера — Тропша	596
7.2.3.2. Газохимический комплекс по производству полиэтилена и полипропилена (переработка газа).....	559	7.4.3.2. Синтез метанола.....	597
7.2.3.3. Газохимический комплекс по производству ароматики (переработка газоконденсата).....	561	7.4.3.3. Синтез диметилового эфира.....	598
7.2.3.4. Газохимический комплекс по производству полистирола, полиэтилена и полипропилена (совместная переработка газа и газоконденсата).....	563	7.4.3.4. Синтез метилформиата.....	602
7.2.3.5. Цинкобелительные цеха.....	564	7.4.4. Каталитическое окисление метана в кислородсодержащие соединения	602
7.2.3.6. Магнезиальные цеха.....	569	7.4.4.1. Каталитическое окисление метана в метанол	602
7.2.3.7. Дальнейшее развитие газохимических комплексов.....	570	7.4.4.2. Каталитическое окисление метана в формальдегид.....	604
7.2.4. Использование газа в деревообрабатывающей промышленности.....	571	7.4.4.3. Каталитическое окисление метана в другие оксигенаты.....	605
7.3. Использование продуктов сгорания природного газа в агропромышленном комплексе (И.В. Наумчик)	576	7.4.5. Прямое газофазное окисление метана в кислородсодержащие соединения.....	606
7.3.1. Использование продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве промышленных предприятий	576	7.4.5.1. Влияние давления на выход продуктов	607
7.3.2. Сушка сельскохозяйственной продукции	582	7.4.5.2. Влияние других факторов на выход продуктов	609
7.3.3. Хранение скоропортящихся продуктов в контролируемой атмосфере	583	7.4.5.3. Парциальное газофазное окисление метан-углеводородных смесей и гомологов метана	610
7.3.4. Использование газа в пищевой промышленности	584	7.4.6. Окислительная конденсация метана	610
7.4. Основные пути переработки метана и синтез-газа. Состояние и перспективы (И.В. Соколова, А.П. Софьин)	585	7.4.7. Дополнительные направления химической конверсии метана	612
7.4.1. Основные направления и масштабы химической переработки и использования природного газа	585	7.4.7.1. Конверсия метана в высшие углеводороды.....	612
7.4.2. Окислительная конверсия метана в синтез-газ	589	7.4.7.2. Ароматизация метана	613
7.4.2.1. Паровая конверсия метана.....	590	7.4.7.3. Кросс-конденсация (окислительное метилирование).....	614
7.4.2.2. Парциальное окисление метана кислородом воздуха.....	591	7.4.7.4. Двухстадийный процесс конверсии метана в высшие углеводороды.....	614
		Литература.....	615
		8. Обеспечение безопасности при работе с природным газом (А.П. Софьин).....	618
		8.1. Общие сведения	618
		8.2. Условия перевозки опасных грузов по железным дорогам	620
		8.2.1. Опасные грузы класса 2	620
		8.2.2. Знаки опасности при перевозке опасных грузов	620
		8.2.3. Особенности упаковки.....	621

8.2.4. Требования к перевозке в крытых вагонах и контейнерах	621	8.5.4. Подавление детонации.....	655
8.2.5. Требования при перевозке в цистернах	622	8.5.5. Ослабление действия детонационных волн	658
8.2.6. Перевозка в сосудах Дьюара.....	622	Литература.....	659
8.2.7. Предотвращение аварийных ситуаций.....	622	9. Методы и приборы для определения природного газа (И.В. Наумчик).....	660
8.2.8. Средства и способы тушения пожаров.....	623	9.1. Основные принципы и методы определения состава и свойств метана ...	660
8.3. Обеспечение безопасности при работе с сжиженным природным газом	626	9.1.1. Основные понятия и определения	660
8.3.1. Области применения СПГ и основные положения правил и мер безопасности	626	9.1.2. Общие сведения о методах и средствах автоматического контроля	661
8.3.2. Взрывоопасные свойства природного газа.....	627	9.1.3. Методы определения концентрации метана	664
8.3.3. Обеспечение безопасности при транспортировке СПГ	630	9.1.3.1. Термохимический (термокаталитический) метод.....	664
8.3.3.1. Транспортировка в автомобильных и железнодорожных цистернах	630	9.1.3.2. Термокондуктометрический метод.....	695
8.3.3.2. Транспортировка по трубопроводам.....	631	9.1.3.3. Оптические методы.....	699
8.3.3.3. Транспортировка в танкерах.....	633	9.1.3.4. Электрохимические методы.....	705
8.3.3.4. Авиаперевозки	636	9.1.3.5. Хроматографические методы.....	707
8.3.4. Обеспечение безопасности при хранении СПГ	636	9.2. Средства и системы автоматической газовой защиты.....	709
8.3.5. Автоматика и системы контроля резервуаров для СПГ	638	9.2.1. Требования, предъявляемые к измерительным преобразователям, их общие свойства	709
8.3.6. Меры безопасности при проведении ремонта резервуаров для СПГ	640	9.2.2. Общие подходы к классификации приборов газовой защиты.....	713
8.4. Газораспределительные сети.....	641	9.2.2.1. Классификация приборов по принципу действия	713
8.4.1. Подземные газопроводы	642	9.2.2.2. Классификация средств контроля.....	714
8.4.2. Надземные газопроводы.....	646	9.2.3. Стационарная аппаратура автоматической газовой защиты.....	716
8.4.3. Пересечение газопроводами преград различного назначения	648	9.2.3.1. Анализатор метана термокаталитический АМТ-2.....	716
8.4.4. Переходы через железнодорожные и трамвайные пути и автомобильные дороги	650	9.2.3.2. Аппаратура АМТ-3	719
8.4.5. Размещение отключающих устройств	651	9.2.3.3. Газоанализатор «Сигма-1»	722
8.5. Мероприятия по предотвращению и ослаблению детонации	652	9.2.3.4. Сигнализатор суммы горючих газов стационарный «Ока-М».....	727
8.5.1. Ингибирование пламен с нормальной скоростью горения.....	652	9.2.3.5. Газоанализатор метана и угарного газа стационарный «Хоббит-Т-СО-СН ₄ ».....	728
8.5.2. Сброс давления на начальных стадиях взрыва	653	9.2.3.6. Газосигнализатор «Марш»	728
8.5.3. Гашение комплексов ударная волна—фронт горения.....	655	9.2.3.7. Устройство контроля загазованности и режимов универсальное УКЗ-ПУ-СН ₄	730

9.2.3.8. Аппаратура комплекса «Метан»	731	9.2.5. Метанометры (термокаталити- ческие) эпизодического действия	760
9.2.3.9. Аппаратура комплекса «Воздух».....	733	9.2.5.1. Метанометр ИМС-1	760
9.2.3.10. Зарубежные стационарные метанометры.....	735	9.2.5.2. Метанометры «Споттер» и М-502.....	761
9.2.4. Переносные непрерывно- действующие сигнализаторы.....	737	9.2.5.3. Метанометры G70/0001 и G2000.....	762
9.2.4.1. Переносные сигнализаторы метана «Спутник шахтера» (СМП-1 и СШ-2).....	737	9.2.5.4. Метанометр VM1.....	763
9.2.4.2. Переносной сигнализатор метана СММ-1	740	9.2.6. Встроенные средства автоматической газовой защиты.....	763
9.2.4.3. Сигнализатор метана СМС-1.....	743	9.2.6.1. Метан-реле ТМРК-3	763
9.2.4.4. Сигнализатор метана «Сигнал-2».....	743	9.2.6.2. Метанометр V1	765
9.2.4.5. Интерферометры ШИ-10 и ШИ-12....	744	9.2.7. Системы автоматической газовой защиты.....	765
9.2.4.6. Портативный искробезопасный хроматограф «Поиск-1»	746	9.2.7.1. Система автоматической газовой защиты и телеавтоматического централизованного контроля содержания метана.....	765
9.2.4.7. Сигнализатор «Метан-9М».....	747	9.2.7.2. Подсистема диспетчерского контроля и управления проветриванием шахт «Атмос»	766
9.2.4.8. Трехканальный переносной газоанализатор на кислород, горючие газы и токсичные газы «Ока-92МТ».....	748	9.2.7.3. Система быстродействующей автоматической газовой защиты.....	768
9.2.4.9. Переносной газоанализатор на кислород и сумму горючих газов «Ока-92М».....	749	9.2.7.4. Воздушно-канальная система «Бункер-1»	771
9.2.4.10. Переносной газоанализатор на горючие и токсичные газы «Ока-МТ».....	750	9.2.7.5. Система контроля загазованности «Агат».....	772
9.2.4.11. Переносной сигнализатор суммы горючих газов «Ока-М»	752	9.2.7.6. Система контроля уровня загазованности помещений ГАЗ-1.....	774
9.2.4.12. Взрывозащищенные многокомпонентные портативные газоанализаторы АТХ-612 / АТХ-620	752	9.2.7.7. Система сигнализации наличия газов FMS 8700.....	774
9.2.4.13. Портативный газосигнализатор метана ТГС-3 М-И	754	9.2.8. Метрологическое обеспечение газоаналитической аппаратуры.....	775
9.2.4.14. Портативный многокомпонент- ный газоанализатор анализа CO, H ₂ S, SO ₂ , CH ₄ и O ₂ 604ЭХ 08....	755	9.2.8.1. Основные задачи и особенности обработки измерительной информации в газовом анализе....	775
9.2.4.15. Газосигнализатор «Комета-4»	756	9.2.8.2. Повышение точности газоанали- тических приборов и систем	776
9.2.4.16. Анализатор метана «Полярис»	757	9.2.8.3. Особенности конструирования газоаналитической аппаратуры	776
9.2.4.17. Индивидуальный сигнализатор метана СМС-5, совмещенный с шахтным головным светильником	757	9.2.8.4. Надежность газоаналитической аппаратуры.....	777
9.2.4.18. Полупроводниковые газовые сенсоры	758	9.2.8.5. Методы и средства проверки шахтных газоанализаторов.....	778
9.2.4.19. Зарубежные сигнализаторы метана	759	9.3. Методика проведения замеров объемов утечек метана на предприятиях ОАО «Газпром»	780

9.3.2. Основные причины и источники утечек на газодобывающих объектах	780	10.2.3. Способы хранения	812
9.3.3. Методы измерений.....	781	10.2.4. Системы бездренажного хранения на основе стирлинг-технологий	813
9.3.3.1. Методы обнаружения утечек.....	781	10.2.5. Методологические основы расчета холодопроизводительности КГМ Стирлинга для систем бездренажного хранения СПГ	817
9.3.3.2. Метод измерения объема утечки.....	785	10.3. Сжиженный природный газ как моторное топливо и хладагент для авторефрижераторной техники.....	819
9.3.4. Средства измерений и вспомогательное оборудование.....	786	10.4. Методологические основы оценки экологической эффективности транспортных холодильных систем на СПГ	822
9.3.5. Подготовка к выполнению измерений	787	10.4.1. Особенности функционирования и оценка воздействия на окружающую среду транспортных холодильных систем на СПГ	822
9.3.6. Выполнение измерений.....	790	10.4.2. Метод расчета <i>TEWI</i>	824
9.3.6.1. Обнаружение утечек.....	790	10.4.3. Сравнительная оценка экологической эффективности различных типов транспортных холодильных систем.....	825
9.3.6.2. Измерение объемов утечек	790	10.5. Технологии производства криогенных баков для автомобилей, работающих на сжиженном природном газе.....	827
Литература	792	10.5.1. Теплоизоляция криогенных автомобильных баков.....	827
10. Сжиженный природный газ — универсальное моторное топливо XXI века (Н.Г. Кириллов)	794	10.5.2. Определение формы криогенного автомобильного бака.....	831
10.1. Производство и перспективы использования сжиженного природного газа как моторного топлива	794	10.5.3. Основные требования к криогенным автомобильным бакам, выполненным на основе композиционных материалов и пористой теплоизоляции	832
10.1.1. Условия сжижения природного газа	795	10.6. Морская транспортировка природного газа.....	833
10.1.2. Технологии сжижения природного газа на крупных заводах СПГ	796	10.6.1. Сравнительные характеристики морских судов-метановозов	834
10.1.3. Мини-заводы по производству СПГ	798	10.6.2. Контейнерная перевозка СПГ в емкостях с пенополиуретановой изоляцияй	835
10.1.3.1. Производство на основе ГРС.....	799	10.7. Двигатели Стирлинга — перспективные преобразователи энергии прямого цикла, работающие на природном газе.....	836
10.1.3.2. Производство на основе АГНКС	800	Литература	837
10.1.3.3. Производство на основе альтернативных технологий	801		
10.1.4. Применение стирлинг-технологий для производства СПГ	802		
10.1.4.1. Мини-заводы	802		
10.1.4.2. Индивидуальные и гаражные заправочные станции СПГ	806		
10.1.4.3. Гаражные заправочные станции СПГ на основе машин Вюлемье — Такониса (цикл «Стирлинг-Стирлинг»)	808		
10.2. Системы хранения сжиженного природного газа	810		
10.2.1. Проблемы хранения	810		
10.2.2. Методика расчета потерь на испарение	811		