

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. Природный газ	7
1.1. Природный газ и способы доставки его потребителям водным путем	7
1.2. Смесевой состав природного газа	10
1.3. Качество природного газа	16
1.4. Фазовая диаграмма газа	21
1.5. Уравнение состояния газа	22
1.6. Измерение плотности СПГ по методу Клозека – Мак-Кинли	26
Глава 2. Фазовые переходы и сжижение природного газа	30
2.1. СПГ и его свойства	30
2.2. Процессы парообразования и конденсации	33
2.3. Сжижение газов	38
2.4. Циклы холодильных машин. Термодинамика получения СПГ	42
2.5. Основные технологические процессы сжижения природного газа	46
2.6. Применение процессов сжижения природного газа на СПГ-бункеровщиках	48
Глава 3. Транспортировка СПГ	51
3.1. Операции, связанные с транспортировкой СПГ	51
3.2. Способы перевозки СПГ водным транспортом. Типы грузовых танков газозовозов СПГ	54
3.3. Бункеровщики СПГ	60
3.4. Хранение СПГ на борту судна-бункеровщика. Геометрия резервуара для хранения и перевозки СПГ	66
3.5. Теплопередача через стенку с изоляцией танка газозовоза	68
Глава 4. Термодинамические процессы при перевозке СПГ	75
4.1. Захолаживание танка	75
4.2. Влияние характеристик изоляции емкости на испаряемость СПГ	80
4.3. Время заполнения и масса выпара СПГ при его погрузке в резервуар, предварительно захолаженный до температуры $T = 143 \text{ K} (-130 \text{ }^\circ\text{C})$	84

4.4. Расчет процессов испарения и конденсации в паровом пространстве	89
4.5. Динамика роста давления	94
4.6. Оценка количества испаряемого СПГ в грузовом и балластном переходах газовоза	96
4.7. Потери давления и связанные с ними процессы парообразования в трубопроводе при заполнении резервуара сжиженным природным газом . . .	102
Глава 5. Опасности при морской транспортировке СПГ	109
5.1. Старение СПГ	109
5.2. Особенности борьбы с ролловером на СПГ-бункеровщиках	110
5.3. Анализ способов борьбы с ролловером	112
5.4. Технические решения по предотвращению ролловера внутри грузового резервуара бункеровщика СПГ	114
5.5. Оценка возможности перемешивания СПГ в танке за счет создания конвективных течений у днища и стенок резервуара	117
5.6. Результаты расчета и их анализ	130
5.7. Аварийные ситуации. Аварийное разрушение резервуара СПГ	132
Глава 6. Тенденция замещения нефти сжиженным природным газом	141
6.1. Топливная система при работе двигателя на СПГ	141
6.2. Регазификация.	142
6.3. Пример расчета рейса танкера	144
Глава 7. Моделирование процесса хранения и бункеровки СПГ при помощи программного комплекса «МЕТАНК».	148
7.1. Теплообмен СПГ в танке с окружающей средой.	150
7.2. Теплообмен между находящимися при разных температурах жидкостью и газом через границу раздела.	151
7.3. Фазовые переходы между агрегатными состояниями	151
7.4. Пример использования программы «МЕТАНК».	152
Заключение	158
Библиография	159
Приложение	165