

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	7
Введение: ретроспективный беглый взгляд на проблему холода и теплоты из XXI века.....	14
Глава I. Достижения и этапы развития инженерной криологии.....	20
1.1. Роль и значение низких температур. Области современной криологии. Мировые достижения. Улучшение качества жизни. Некоторые важные работы, выполненные в последние годы в России. Инженерная криология на рубеже веков.....	20
1.2. Анализ исторического опыта создания отечественной крупнотоннажной криоиндустрии.....	45
Глава II. Термодинамические принципы и предельные соотношения для не прямых, непрерывных, обратимых (равновесных) взаимных преобразований теплоты и работы (электроэнергии).....	59
2.1. Термодинамическая температура. Единое термодинамическое температурное пространство. Холод и теплота.....	59
2.2. Окружающая среда, ее температура и свойства.....	64
2.3. Тепловые двигатели: генераторы работы (электроэнергии).....	66
2.4. Холодильные и криогенные установки и системы: генераторы холода.....	68
2.5. Тепловые насосы — генераторы высокопотенциальной теплоты.....	70
2.6. «Холодные» двигатели — генераторы работы.....	71
2.7. Различные преобразования потоков только теплоты. Пример преобразования теплоты высокого потенциала в холод.....	72
2.8. Энтропия. Эксергия теплоты.....	74
2.9. Внутренняя энергия и энтальпия. Свободная энергия и свободная энтальпия. Эксергия потока.....	86
2.10. Силы воздействия потоков веществ и изменение импульса.....	92
Глава III. Классические технологические задачи инженерной криологии и теоретически минимально необходимая энергия для их осуществления.....	96
3.1. Охлаждение (при $p = \text{const}$ и $v = \text{const}$).....	96
3.2. Криостатирование (при $T_x = \text{const}$).....	97
3.3. Конденсация веществ из паровой фазы в жидкое или твердое состояние.....	100
3.4. Ожидание, отвердевание и вымораживание газов.....	100
3.5. Разделение и очистка газов и газовых смесей.....	102
3.6. Перенос теплоты на более высокий температурный уровень. (Тепловые насосы. Динамическое отопление).....	103

Глава IV. Принципиальные схемы реальных машинных систем, осуществляющих непрямые, непрерывные, циклические процессы для генерации работы (энергии), холода и теплоты. Энергетические и энтропийные балансы реальных систем. Источники энтропийно-статистического метода определения энергетических потерь	106
4.1. Высокотемпературный тепловой двигатель – генератор работы	106
4.2. Низкотемпературная машинная система – генератор холода	107
4.3. Высокотемпературная парокомпрессионная машинная система для генерации теплоты – тепловой насос	110
4.4. Универсальная машинная система – тепловой насос с газовым циклом для генерации теплоты и холода	111
4.5. Низкотемпературный («холодный») двигатель – генератор работы	113
4.6. Высоко- и низкотемпературная система – генератор холода (за счет высокопотенциальной теплоты)	115
Глава V. Реальные величины затрачиваемой или получаемой работы (электроэнергии). Основы приближенного, энтропийно-статистического метода оценки реальных энергетических потерь в низкотемпературных системах и установках	119
5.1. Теоретические величины энергетических потерь в циклах НТУ	120
5.2. Величины действительно затрачиваемой работы для компенсации необратимости рабочих процессов и циклов в НТУ	121
5.3. Энергетические потери, присущие низкотемпературным установкам в целом	122
5.4. Основные реальные необратимые процессы НТУ	124
5.5. О вычислении действительных величин производства энтропии	126
5.6. Стадии термодинамического анализа НТУ	127
Глава VI. Характерные особенности рабочих процессов низкотемпературных систем – генераторов холода	130
6.1. О работе сжатия и расширения в низкотемпературных системах с потоками рабочего тела	130
6.2. Изменение основных термодинамических величин при сжатии реального газа	142
6.3. Основные процессы, сопровождающиеся понижением температуры в адиабатных условиях или поглощением теплоты в изотермических условиях	144
6.4. Понятие о холодопроизводящих процессах в циклах низкотемпературных установок	145
Глава VII. Термодинамический анализ наиболее часто реализуемых процессов, сопровождающихся понижением температуры	147
7.1. Процесс $h = \text{const}$. Дросселирование газов, паров и жидкостей в открытой системе	147

7.2. Процесс $U = \text{const.}$ («Дросселирование» в закрытой системе) ...	165
7.3. Процесс $s = \text{const.}$ Равновесное адиабатное расширение потока вещества. Расширение газов, паров и жидкостей в детандерах – детандирование ...	168
7.4. Процесс $\alpha_{\text{ш}} = \text{const.}$ Выхлоп или свободный выпуск газа из баллона. Процесс впуска ...	179
7.5. Процессы в адиабатной системе с переменной массой ...	186
7.6. Расширение газа в адиабатной вихревой трубе Ранка – Хилша ...	188
7.7. Процессы волнового расширения газа ...	194
7.8. Адиабатная откачка паров кипящей жидкости. Адиабатное барботирование ненасыщенных газов через жидкость ...	201
7.9. Процессы охлаждения, основанные на использовании свойств ^4He и ^3He ...	211
7.10. Процессы охлаждения с использованием рабочих тел в твердом состоянии ...	218
7.11. Электрокалорический эффект охлаждения. Термомагнитное охлаждение. Намагничивание сверхпроводников. Механокалорический эффект. Охлаждение смещением. Деформация упругой среды ...	237
Глава VIII. Одноразовое (кратковременное) и непрерывное (длительное) охлаждение ...	247
8.1. Принципы и способы одноразового (кратковременного) охлаждения ...	247
8.2. Принципы организации непрерывного (длительного) охлаждения ...	250
Глава IX. Генерация холода в низкотемпературных циклах ...	254
9.1. Рабочие тела низкотемпературных систем ...	254
9.2. Основные вопросы организации циклов. Характерные рабочие процессы генераторов холода. Холодопроизводящие процессы в циклах низкотемпературных установок ...	257
9.3. Теорема о холодопроизводительности различных циклов с потоками рабочего тела. Условные понятия «полезной» холодопроизводительности и «потерь» холодопроизводительности. Баланс реально генерируемой (вырабатываемой) и затрачиваемой (расходуемой) холодопроизводительности ...	266
Глава X. Особенности классических циклов низкотемпературных установок ...	273
10.1. Характерные особенности циклов с дросселированием и основные этапы их развития ...	273
10.2. Циклы с детандированием и основные этапы их развития ...	277
10.3. Сравнение параметров и характеристик классических детандерных циклов низкого, среднего и высокого давления для ожижения воздуха ...	283
10.4. Рефрижераторные циклы на основе процесса выхлопа ...	292

Глава XI. Газовые циклы	296
11.1. Газовые интегрированные циклы тепловых насосов для одновременной генерации тепла и холода.	296
11.2. Цикл с «горячим» рекуператором.	297
11.3. Цикл с «холодным» рекуператором.	299
11.4. Цикл с общим «горяче-холодным» рекуператором.	301
11.5. Цикл без рекуператора.	303
11.6. Однопоточный каскадный цикл А.П. Клименко.	305
11.7. Циклы поршневых газовых холодильных машин и пульсационных криогенераторов (обратные холодильные циклы Стирлинга и Эриксона, циклы Гиффорда – Мак-Магона, циклы пульсационных криогенераторов, цикл Вюлемье – Такониса)	307
Глава XII. Применение энтропийно-статистического метода термодинамического анализа для исследования различных процессов и циклов низкотемпературных систем и установок с потоками рабочего тела	342
12.1. Примеры нелогичности и нецелесообразности применения эксергетического варианта термодинамического анализа для исследования низкотемпературных процессов.	343
12.2. Исследование классического цикла парокompрессионной холодильной машины. Термодинамический анализ фреоновой (R22) рефрижераторного цикла	348
12.3. Исследование классического цикла высокого давления (Линде – Хемпсона) для ожижения воздуха	356
12.4. Исследование цикла среднего давления с детандером Ж. Клода для ожижения воздуха.	360
12.5. Исследование цикла высокого давления с детандером П. Гейландта для ожижения воздуха	371
12.6. Анализ воздушного рефрижераторного рекуперативного цикла низкого давления с детандером (обратный цикл Брайтона).	383
12.7. Энтропийно-статистический анализ воздушного рекуперативного цикла низкого давления с детандером для ожижения воздуха (цикл П.Л. Капицы).	392
12.8. Энтропийно-статистический анализ установок сжижения природного газа малой производительности	409
12.9. Энтропийно-статистический анализ классических холодильных циклов для систем кондиционирования воздуха.	452
12.10. Аккумулирование холода, как способ энергосбережения и оптимизации энергопотребления	468
12.11. Анализ воздушного интегрированного цикла для одновременной генерации тепла и холода.	487
Приложение	497