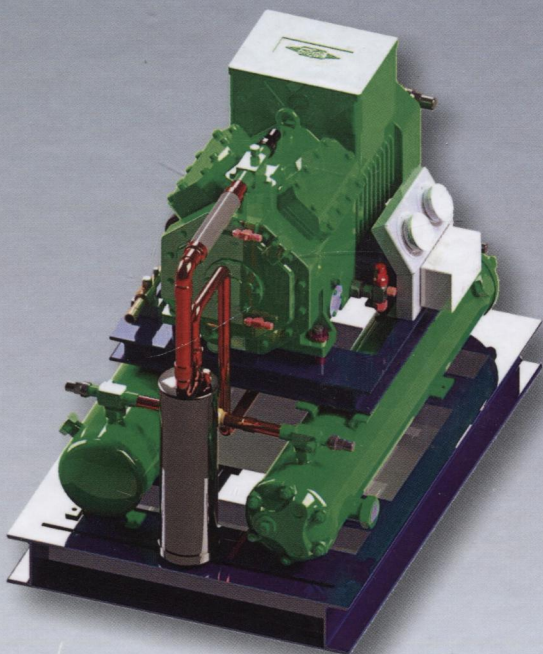


Б. Т. М А Р И Н Ю К

РАСЧЕТЫ ТЕПЛООБМЕНА В АППАРАТАХ И СИСТЕМАХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ



МАШИНОСТРОЕНИЕ

Б. Т. МАРИНЮК

РАСЧЕТЫ ТЕПЛООБМЕНА
В АППАРАТАХ И СИСТЕМАХ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
ТЕХНИКИ



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2015

УДК 621.57

ББК 31.392

М 26

Маринюк Б.Т.

М 26 Расчеты теплообмена в аппаратах и системах низкотемпературной техники. — М.: Машиностроение, 2015. — 272 с.
ISBN 978-5-94275-784-7

Дано описание конструкций теплообменных аппаратов холодильных машин, в том числе работающих в условиях выпадения льдоинеевого криосада, предложены методики их тепловых и конструктивных расчетов. Рассмотрены свойства холодильных агентов и хладоносителей. Описаны средства вакуумной откачки и изложены принципы работы атмосферных газификаторов жидких криопродуктов. Предложены методы интенсификации работы теплообменных аппаратов и устройств техники низких температур.

Для инженерно-технических и научных работников, специализирующихся по профилю техники низких температур.

УДК 621.57

ББК 31.392

ISBN 978-5-94275-784-7

© Автор, 2015

© ООО «Издательство Машиностроение», 2015

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Информационно-вероятностная концепция распределения температур в телах канонических форм	6
1.1. Развитие теоретико-информационных представлений в описании физических процессов	6
1.2. Информативно-вероятностная модель распределения температур в твёрдых телах	10
1.3. Плоская стенка	13
1.4. Полый цилиндр	18
1.5. Сферический слой	22
1.6. Полуограниченный массив	24
1.7. Полуограниченный массив с переменными теплофизическими свойствами	28
1.8. Общие замечания по методике применения информационно-вероятностного подхода в решении нелинейных задач переноса	34
Глава 2. Нестационарная теплопроводность в условиях льдообразования на теплопередающей поверхности стенки	37
2.1. Общая характеристика класса задач, их практическая значимость	37
2.2. Нестационарная теплопроводность полуограниченного массива льда с температурозависимыми теплофизическими свойствами	48
2.3. Теоретическое исследование нестационарного теплообмена при намораживании льда на плоской стенке с учетом переменности теплофизических свойств	52
2.4. Расчёт динамики намораживания льда на охлаждаемой поверхности плоской стенки, погруженной в воду	57
2.5. Оценка максимальной толщины слоя льда, намораживаемого на наружной поверхности полой трубы	63
2.6. Расчёт термического сопротивления криосадка из водного льда	66
2.7. Намораживание водного льда на поверхности полой трубы	68
2.8. Расчёт теплопередачи в условиях намораживания водного льда на оребрённой поверхности	71

Глава 3. Теплообмен в условиях инееобразования на охлаждаемой поверхности стенки	74
3.1. Виды низкотемпературного оборудования, работающего в условиях криоосадка из водного инея	74
3.2. Образование водного инея как процесс зарождения и роста кристаллов льда	74
3.3. Характеристики тепло- и массообмена при формировании инеевого криоосадка	76
3.3.1. Масса намораживаемого инея	77
3.3.2. Толщина слоя инея	79
3.3.3. Теплопроводность криоосадка из инея	80
3.4. Теплообмен на охлаждаемой поверхности плоской стенки в условиях образования инея	83
Глава 4. Аппараты холодильных машин, конструктивные особенности и расчёт	85
4.1. Общие сведения	85
4.1.1. Виды расчетов аппаратов холодильных машин	86
4.2. Теплообмен в условиях выпадения влаги на охлаждаемых поверхностях	86
4.2.1. Оребрение	86
4.2.2. Влаговыведение на плоской стенке	89
4.2.3. Влаговыведение на оребренной поверхности	90
4.3. Расчёт испарителей с внутриканальным кипением хладагентов	91
4.3.1. Расчёт кожухотрубных испарителей с внутриканальным кипением	91
4.3.2. Конструктивные особенности и расчет испарителей с внутриканальным кипением хладагентов в условиях инееобразования на рабочих поверхностях	98
4.3.3. Конструктивные особенности и расчёт поверхностных сухих воздухоохладителей	99
4.4. Пластинчатые и пластинчато-ребристые испарители холодильных машин	113
4.4.1. Пример теплового и конструктивного расчета пластинчато-ребристого испарителя	116
4.4.2. Расчет испарителя	121
4.5. Тепловой конструктивный расчет горизонтального кожухотрубного водяного конденсатора	129
4.5.1. Гидромеханический расчет	132
4.6. Описание процесса охлаждения воды в безнасадочной вакуумной градирне	133
Глава 5. Холодильные агенты и хладоносители	140
5.1. Холодильные агенты	140
5.1.1. Воздействие хладонов на окружающую среду	143
5.1.2. Воздействие высоких температур на холодильные агенты	144
5.2. Тепло- и хладоносители	145

5.2.1. Общие сведения	145
5.2.2. Требования, предъявляемые к хладоносителям	147
5.2.3. Теплохладоносители на основе пропиленгликоля	148
5.2.4. Глицерин, водоглицериновые растворы	150
5.2.5. Спиртосодержащие хладоносители	154
5.2.6. Теплохладоноситель «Экосол»	158
5.2.7. Теплохладоноситель на основе ацетата калия	160
Глава 6. Вакуумные установки для охлаждения жидкостей и получения водного льда	162
6.1. Общие сведения	162
6.2. Рабочие вещества	163
6.3. Системы вакуумной откачки. Определение эффективной скорости и времени откачки	168
6.3.1. Откачка при $S_n = \text{const}$; $U \rightarrow \infty$; $p_0 \rightarrow 0$	171
6.3.2. Откачка при $S_n = \text{const}$, $U \rightarrow \infty$ и конечном предельном давлении p_0	171
6.3.3. Откачка при переменной скорости вакуумирования $S_n = \text{var}$; $U \rightarrow \infty$; $p_0 \rightarrow 0$	172
6.3.4. Откачка при $S_n = \text{const}$, $U = \text{const}$, $p_0 \rightarrow 0$	172
6.3.5. Откачка при $S_n = \text{var}$, $U = \text{const}$	173
6.4. Средства вакуумной откачки	173
6.4.1. Классификация средств вакуумной откачки	173
6.4.2. Механические вакуумные насосы	174
6.4.3. Основные параметры и характеристики вакуумных насосов	175
6.4.4. Области действия вакуумных насосов	176
6.4.5. Поршневые вакуумные насосы	176
6.4.6. Многопластинчатые вращательные насосы	177
6.4.7. Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы	179
6.4.8. Вращательные насосы с масляным уплотнением	181
6.4.9. Двухроторные вакуумные насосы (ДВН)	185
6.4.10. Анализ средств вакуумной откачки для использования в холодильных машинах с природными хладагентами низкого давления	187
6.4.11. Тепловые процессы вакуумно-испарительного охлаждения жидкостей	189
Глава 7. Атмосферные газификаторы жидких криопродуктов	207
7.1. Особенности наружного теплообмена атмосферных газификаторов жидких криопродуктов	207
7.2. Классификация криогенных газификационных установок. Требования, предъявляемые к ним	208
7.2.1. Принцип действия атмосферного криогенного газификатора	210
7.3. Методы повышения эффективности атмосферных газификаторов	212
7.3.1. Краткий обзор технических решений	

по интенсификации наружного теплообмена	212
7.3.2. Схема атмосферного газификатора с чередованием «теплых» и «холодных» испарительных панелей.	214
7.3.3. Интенсификация наружного теплообмена в газификаторе по методу орошения	216
7.3.4. Флюгерно-ветровая схема с механическим съемом криосадка с активной поверхности.	218
7.3.5. Подавление процесса инееобразования на основе гидрофобных покрытий теплопередающей поверхности	220
7.4. Исследование эффективности теплообмена в экспериментальной газификационной секции	221
7.4.1. Цель и задачи экспериментального исследования	221
7.4.2. Экспериментальный стенд	222
7.4.3. Общие вопросы методики исследования.	223
7.5. Результаты экспериментального исследования.	225
7.6. Рекомендации по проведению теплового расчёта атмосферного газификатора жидких криопродуктов.	232
Глава 8. Совершенствование конструктивных схем и улучшение технических характеристик теплообменников и энергоустановок малой мощности.	235
8.1. Вакуумная электроэнергетическая установка, работающая за счет тепла низкого потенциала.	235
8.2. Подавление процесса инеевыпадения в установках охлаждения и осушки воздуха	241
8.3. Снегогенератор	246
Приложение	248
Расчетные соотношения для определения характеристик теплопередачи в условиях льдоинеевых образований	248
Характеристики инеевого криосадка из влажного воздуха	248
Характеристики криосадка из водного льда	249
Список литературы	262