

## **Оглавление**

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Проблема обеспечения теплового режима электронных приборов.....</b>	<b>5</b>
1.1. Влияние теплового режима на надежность и параметры приборов .....	5
1.2. Основные виды теплопередачи, используемые в системах охлаждения электронных приборов.....	8
1.2.1. Передача тепла излучением .....	9
1.2.2. Передача тепла теплопроводностью.....	10
1.2.3. Передача тепла конвекцией .....	12
1.3. Системы жидкостного охлаждения.....	21
1.3.1. Устройство и принцип работы жидкостных систем.....	21
1.3.2. Пути повышения эффективности жидкостного охлаждения.....	24
1.3.3. Проблема отложений .....	26
1.4. Использование тепловых труб в системах охлаждения электронных приборов .....	27
1.5. Проблема интенсификации теплообмена с окружающей средой.....	29
<b>Глава 2. Системы охлаждения электронных приборов с теплопередающим трактом на основе жидкостной магистрали .....</b>	<b>30</b>
2.1. Выбор теплоносителя промежуточного контура.....	30
2.2. Температурная диаграмма процесса охлаждения приборов, полный температурный напор в системе, нижняя граница массовых расходов теплоносителей.....	32
2.3. Элементы гидромеханики, затраты мощности на перемещение теплоносителя.....	34
2.3.1. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости .....	34
2.3.2. Гидравлические потери в системе .....	37
2.3.3. Затраты мощности на перемещение теплоносителя.....	42
2.4. Основные элементы индивидуальных систем охлаждения приборов .....	43
2.4.1. Нагнетатели .....	43
2.4.2. Расширительный резервуар .....	51

2.4.3. Стабилизатор потока .....	51
2.4.4. Арматура контура .....	54
2.4.5. Промежуточные теплообменники .....	55
2.5. Основные положения теплового расчета теплообменников .....	59
2.6. Общие замечания по выбору геометрии каналов теплообменника .....	61
2.7. Оценка граничных условий в каналах теплообменников ...	64
2.8. Исследование условий теплообмена в плоских каналах большой протяженности .....	70
2.8.1. Конструкция экспериментальных макетов .....	70
2.8.2. Схема экспериментальной установки .....	71
2.8.3. Исследование теплоотдачи при ламинарном режиме течения .....	72
2.8.4. Исследование теплоотдачи при переходном режиме течения .....	77
2.9. Влияние деформации стенок на условия теплоотдачи и проницаемость каналов .....	81
2.10. Расчет и проектирование систем .....	87
2.10.1. Параметр теплопередачи системы .....	87
2.10.2. Форма представления теплофизических свойств теплоносителей .....	89
2.10.3. Зависимость параметра теплопередачи в рубашке охлаждения прибора от мощности нагнетателя .....	89
2.10.4. Средняя температура теплоносителя промежуточного контура .....	93
2.10.5. Средняя температура теплоносителя внешнего контура системы .....	94
2.10.6. Средний температурный напор в теплообменнике .....	95
2.10.7. Среднелогарифмический температурный напор .....	95
2.10.8. Зависимость параметра теплопередачи в каналах теплообменника от критерия Рейнольдса .....	96
2.10.9. Критерий качества теплоносителя внутреннего контура ...	99
2.10.10. Длина каналов теплообменника .....	100
2.10.11. Эквивалентный диаметр каналов .....	100
2.10.12. Оптимизация систем охлаждения по массе .....	100
2.10.13. Оптимальное значение критерия Рейнольдса во внутреннем контуре теплообменника .....	103
2.10.14. Значение критерия Рейнольдса во внешнем контуре теплообменника .....	103

2.10.15. Методика расчета оптимизированных по массе систем .....	104
<b>Глава 3. Высокоэффективные тепловые трубы систем охлаждения электронных приборов .....</b>	<b>108</b>
3.1. Основные принципы конструирования тепловых труб большой протяженности .....	108
3.1.1. Выбор рабочей жидкости .....	108
3.1.2. Корпус тепловой трубы .....	114
3.1.3. Капиллярная структура .....	114
3.2. Разработка гибкой артериальной структуры .....	118
3.2.1. Конструкция гибкой артерии .....	119
3.2.2. Исследование осевой проницаемости .....	120
3.2.3. Исследование радиальной проницаемости .....	127
3.2.4. Исследование капиллярных характеристик .....	131
3.2.5. Проектирование гибких артерий .....	137
3.3. Конструирование артериальных тепловых труб .....	141
3.3.1. Артериальные тепловые трубы с раздающей капиллярной структурой на основе сеточных полотен .....	141
3.3.2. Артериальные тепловые трубы с раздающей капиллярной структурой, выполненной методом электроискровой обработки .....	144
3.3.3. Артериальные тепловые трубы с раздающей капиллярной структурой, выполненной методом порошковой металлургии .....	149
3.4. Технология изготовления артериальных тепловых труб ..	155
3.4.1. Изготовление корпуса .....	155
3.4.2. Изготовление раздающей капиллярной структуры .....	157
3.4.3. Технология изготовления артерий .....	159
3.4.4. Заполнение тепловых труб теплоносителем .....	161
3.5. Исследование параметров артериальных тепловых труб ..	163
<b>Глава 4. Интенсификация теплообмена с окружающей средой .....</b>	<b>166</b>
4.1. Оптимизация условий теплоотдачи кольцевого ребра .....	166
4.2. Охлаждение электронных приборов естественной конвекцией .....	172
4.2.1. Сброс тепла с помощью массивных конструкционных элементов .....	173

4.2.2. Сброс тепла с помощью воздушного радиатора.....	175
4.3. Охлаждение электронных приборов вынужденной конвекцией.....	181
4.3.1. Воздушный теплообменник с пластинчатым оребрением .....	181
4.3.2. Воздушный теплообменник со спирально-проволочным оребрением .....	184
<b>Глава 5. Обеспечение работоспособности приборов в условиях повышенной и изменяющейся температуры окружающей среды.....</b>	<b>190</b>
5.1. Разработка термоэлектрических холодильников на базе унифицированных термоэлектрических батарей .....	190
5.1.1. Холодильник на базе термобатарей типа «Селен» .....	191
5.1.2. Холодильник на базе термобатарей типа «ТЭМО».....	197
5.2. Стабилизация теплового режима приборов средней мощности .....	202
5.3. Стабилизация теплового режима мощных приборов .....	204
<b>ГЛАВА 6. Жидкостные системы охлаждения газовых лазеров.....</b>	<b>210</b>
6.1. Стационарная система охлаждения ионного лазера с рассеиваемой мощностью 25 кВт .....	210
6.1.1. Конструкция активного элемента ионного лазера ЛГН-512 .....	210
6.1.2. Результаты оптимизации системы охлаждения типа «жидкость – жидкость» .....	212
6.1.3. Конструкция жидкостного теплообменника .....	214
6.1.4. Система охлаждения типа «жидкость – жидкость».....	216
6.2. Автономная система охлаждения ионного лазера с рассеиваемой мощностью 12,5 кВт .....	218
6.2.1. Конструкция активного элемента ионного лазера ЛГ-106.....	219
6.2.2. Результаты анализа теплового режима системы .....	219
6.2.3. Конструкция воздухоохлаждаемого теплообменника.....	223
6.2.4. Система охлаждения типа «жидкость – воздух» .....	224
6.3. Встроенная система охлаждения CO <sub>2</sub> -лазера с рассеиваемой мощностью 20 Вт .....	227
6.3.1. Устройство и принцип работы системы охлаждения.....	227
6.3.2. Основные расчетные соотношения.....	228

6.3.3. Силовая характеристика нагнетателя .....	230
6.3.4. Импульсный источник питания .....	232
6.3.5. Условия теплообмена в жидкостной магистрали .....	234
6.3.6. Теплоотсеивающий элемент.....	235
6.3.7. CO <sub>2</sub> -лазер с встроенной системой охлаждения .....	236
<b>Глава 7. Системы охлаждения приборов на основе артериальных тепловых труб .....</b>	<b>242</b>
7.1. Система охлаждения импульсного водородного тиратрона.....	242
7.1.1. Тепловой режим оболочки прибора.....	242
7.1.2. Обеспечение теплового режима катодно-сеточного узла тиратрона .....	244
7.1.3. Обеспечение теплового режима анодного узла тиратрона.....	247
7.2. Система охлаждения CO <sub>2</sub> -лазера с возбуждением разрядом постоянного тока .....	248
7.2.1. Анализ существующей системы охлаждения.....	248
7.2.2. CO <sub>2</sub> -лазер с системой охлаждения на базе гибкой тепловой трубы.....	252
7.3. Система охлаждения CO <sub>2</sub> -лазера с высокочастотным возбуждением.....	257
7.3.1. Анализ существующей системы охлаждения.....	257
7.3.2. Согласование теплопередающего тракта с системой возбуждения лазера .....	260
7.3.3. CO <sub>2</sub> -лазер с системой охлаждения на базе тепловых труб .....	265
7.4. Система охлаждения СВЧ-диода Ганна.....	267
7.4.1. Анализ теплового режима СВЧ-диода.....	267
7.4.2. Система охлаждения диода Ганна на основе тепловой трубы.....	271
<b>Заключение.....</b>	<b>273</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>274</b>