



М.К.Безродный
И.Л.Пиоро
Т.О.Костюк

**ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА
В ДВУХФАЗНЫХ
ТЕРМОСИФОННЫХ СИСТЕМАХ**

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

М. К. Безродный, И. Л. Пиоро, Т. О. Костюк

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА
В ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОННЫХ
СИСТЕМАХ.
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

2-е издание, дополненное и переработанное



УДК 536.24 662.98 662.99

ББК 31.31

Б 40

Безродный М. К., Пиоро И. Л., Костюк Т. О.

Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика. — 2-е издание, дополненное и переработанное. — Киев: Факт, 2005. — 704 с.: илл.

В монографии изложены основные положения теории процессов теплообмена и кризисов теплопереноса в различных свободно-конвективных двухфазных системах (большом объеме, замкнутых противоточных испарительно-конденсационных устройствах, испарительных и испарительно-конденсационных циркуляционных контурах), а также теории гидродинамики двухфазных потоков применительно к термосифонам различных конструкций. Рассмотрены современные эффективные конструкции теплообменных систем и устройств с двухфазными термосифонами для различных отраслей промышленности, вопросы технологии их изготовления и особенности эксплуатации. Даны практические рекомендации по выбору теплоносителя и конструкционных материалов.

Для специалистов в области теплообмена при фазовых превращениях, разработки и применения теплообменных и теплоутилизационных устройств, а также для преподавателей, аспирантов и студентов энергетических специальностей вузов.

Табл. 19. Ил. 250. Библ. 722 назв.

© Безродный М. К., Пиоро И. Л.,
Костюк Т. О., 2003

© Безродный М. К., Пиоро И. Л.,
Костюк Т. О., 2005, с изменениями

© Дизайн, макет, «Факт», 2005

ISBN 966-359-045-9

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	15
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	19
Глава первая. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОННЫХ СИСТЕМ.....	22
1.1. Устройство и принцип работы.....	22
1.2. Эффективность применения двухфазных термосифонов в промышленных системах передачи теплоты.....	26
1.3. Классификация и конструктивное исполнение.....	29
1.4. Особенности процессов переноса.....	37
1.5. Теплоносители и конструкционные материалы.....	38
1.6. Технология изготовления.....	46
Глава вторая. ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ.....	49
2.1. Техника теплофизического эксперимента.....	49
2.2. Пузырьковое кипение.....	63
2.3. Теплообмен при кипении в большом объеме и в термосифонах.....	75
2.4. Особенности теплообмена при кипении в термосифонах .	83
2.5. Кипение в тонких пленках жидкости.....	89
2.6. Кипение в щелевых каналах.....	101
2.7. Кипение на поверхностях с пористым покрытием.....	105
2.8. Кипение при воздействии электрического поля.....	114
2.9. Кипение при вибровоздействии на жидкость.....	122
2.10. Кипение жидкости с ПАВ.....	128

2.11. Кипение на поверхности с полимерными покрытиями . . .	131
2.12. Кипение жидкости с твердыми дисперсными частицами .	134
Глава третья. КРИЗИС ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ	
В БОЛЬШОМ ОБЪЕМЕ.....	136
3.1. Общие характеристики кризиса теплообмена.....	136
3.2. Гидродинамическая модель кризиса кипения.....	150
3.3. Термодинамическая модель кризиса кипения.....	153
3.4. Модель предельного насыщения пристенного слоя.....	154
3.5. Модель кризиса при испарении жидкого макрослоя	158
Глава четвертая. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
ДВУХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОСИФОНОВ	
С НЕОРГАНИЗОВАННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ	
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....	
	162
4.1. Описание двухфазной системы термосифонов	
с помощью безразмерных параметров.....	162
4.2. Учет сжимаемости паровой фазы	
в процессах межфазного взаимодействия.....	165
4.3. Характерные режимы движения одиночных пузырей газа	
и капель жидкости в сплошных несущих средах.....	170
4.4. Закономерности изменения объемного паросодержания	
динамического двухфазного слоя теплоносителя.....	182
4.5. Режимы движения встречных потоков газа (пара)	
и пленки жидкости.....	191
4.6. Модель нарушения устойчивости волнового течения	
пленки жидкости в противотоке с газом.....	199
4.7. Кризисы противоточного движения в двухфазных	
термосифонах.....	208
4.8. Обобщение экспериментальных данных по кризисным	
явлениям в противоточном движении пленки жидкости	
и потока пара.....	214
Глава пятая. ТЕПЛОПЕРЕНОС В ДВУХФАЗНЫХ	
ТЕРМОСИФОНАХ С НЕОРГАНИЗОВАННОЙ	
ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....	
	225
5.1. Факторы, влияющие на предельный тепловой поток	225
5.2. Режимы работы термосифонов.....	241

5.3. Результаты систематических исследований пределных тепловых потоков.....	245
5.4. Анализ возможных кризисов теплопереноса.....	255
5.5. Кризис теплопереноса в граничном двухфазном слое	257
5.6. Кризис теплопереноса в динамическом двухфазном слое .	265
5.7. Кризисы теплопереноса на транспортном участке термосифонов.....	272
5.8. Кризисы теплопереноса в условиях ударного тепловыделения.....	278
5.9. Кризисы теплопереноса при кипении на поверхностях малого размера.....	283
5.10. Пределные тепловые потоки при кипении жидкостей в особых условиях.....	298
5.11. Теплообмен при конденсации в термосифонах.....	306
5.12. Интенсификация процессов теплообмена при конденсации в термосифонах.....	313
 Глава шестая. ТЕПЛОПЕРЕНОС В ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ С БИНАРНЫМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ.....	 317
6.1. Кипение смесей и растворов.....	317
6.2. Кризис теплообмена при кипении смесей и растворов . . .	325
6.3. Кризис теплопереноса при использовании в термосифонах бинарных теплоносителей.....	332
 Глава седьмая. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ ТЕРМОСИФОНОВ С ОРГАНИЗОВАННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....	 358
7.1. Режимы течения двухфазного потока в вертикальных кольцевых каналах.....	358
7.2. Объемное паросодержание и гидравлическое сопротивление в двухфазном потоке.....	364
7.3. Кризисные явления в кольцевых двухфазных течениях. . .	373
7.4. Модель нарушения устойчивости кольцевого режима течения.....	385
7.5. Расчетный анализ кризисных явлений в восходящем двухфазном потоке.....	391

7.6. Расчетная модель циркуляции теплоносителя в замкнутом контуре.....	394
7.7. Оптимальные геометрические характеристики термосифона с внутренними вставками.....	400
7.8. Оптимальная степень заполнения термосифонов.....	406
Глава восьмая. ТЕПЛОПЕРЕНОС В ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ С ОРГАНИЗОВАННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....	408
8.1. Предельные тепловые потоки.....	408
8.2. Анализ возможных кризисов теплопереноса.....	425
8.3. Кризисы теплообмена второго рода.....	426
8.4. Кризисы теплопереноса при нарушении устойчивости двухфазного течения.....	437
8.5. Теплообмен при конденсации в восходящем двухфазном потоке.....	442
Глава девятая. ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕНОС В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И СЛАБОНАКЛОННЫХ ТЕРМОСИФОННЫХ СИСТЕМАХ.....	446
9.1. Особенности процессов переноса и их изучения в горизонтальных термосифонах.....	446
9.2. Режим «захлебывания» противоточного течения в горизонтальном канале при независимом изменении расходов фаз.....	448
9.3. Режим «захлебывания» противоточного течения в горизонтальной термосифонной системе.....	453
9.4. Кризис теплопереноса в горизонтальных и слабонаклонных термосифонах.....	457
9.5. Термическое сопротивление и оптимальное заполнение горизонтальных термосифонов в докритических режимах.....	461
Глава десятая. КРИЗИСЫ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ЖИДКОСТЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЩЕЛЕВЫХ КАНАЛАХ.....	470
10.1. Анализ литературных данных по кризисам теплообмена при кипении жидкостей в вертикальных щелевых каналах	470

10.2. Экспериментальные установки и методика исследования критических тепловых потоков при кипении в щелевых каналах.....	476
10.3. Результаты исследований критических тепловых потоков и их анализ.....	480
10.4. Расчетный анализ кризисов переноса, связанных с достижением критической скорости пара в щелевом канале.....	486
10.5. Обобщение опытных данных по кризисам теплообмена при кипении в щелевых каналах.....	492
Глава одиннадцатая. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОСИФОНОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ ... 498	
11.1. Системы охлаждения, тепловой защиты и термостабилизации промышленных аппаратов, машин, приборов и устройств.....	498
11.2. Системы и устройства для нагрева технологических сред.....	518
11.3. Теплообменники для утилизации теплоты в промышленности.....	530
11.4. Термосифонные калориферы, теплогенераторы и аккумуляторы теплоты.....	557
11.5. Двухфазные термосифоны в системах использования нетрадиционных источников энергии . . .	568
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	574
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	623
ОБ АВТОРАХ.....	701