

---

Б.С. Петухов, Л.Г. Генин,  
С.А. Ковалев, С.Л. Соловьев

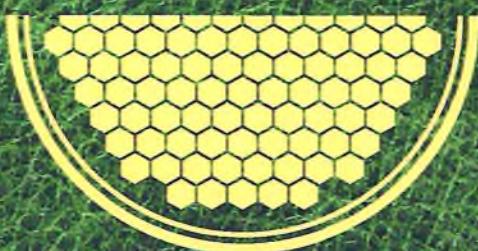
# ТЕПЛООБМЕН

В ЯДЕРНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
УСТАНОВКАХ

---

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

---



# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие .....	6
Введение.....	9
<b>Глава 1. Тепловыделение в активной зоне реактора .....</b>	<b>17</b>
1.1. Источники тепла в активной зоне .....	17
1.2. Распределение тепловыделения в активной зоне.....	23
1.3. Теплоносители ядерных энергетических установок .....	28
<b>Глава 2. Уравнение теплопроводности и методы его решения.....</b>	<b>31</b>
2.1. Уравнение теплопроводности .....	31
2.2. Начальные и граничные условия для процессов теплопроводности ..	33
2.3. Некоторые преобразования уравнения теплопроводности .....	35
2.4. Методы решения задач теплопроводности .....	37
2.4.1. Одномерные стационарные задачи теплопроводности.....	37
2.4.2. Теплопроводность через ребра и оребренную стенку.....	54
2.4.3. Двумерные стационарные задачи теплопроводности .....	61
2.4.4. Нестационарные задачи теплопроводности.....	72
2.4.5. Численные методы решения задач теплопроводности .....	84
<b>Глава 3. Основные уравнения конвективного теплообмена.....</b>	<b>97</b>
3.1. Уравнения энергии, движения и неразрывности .....	97
3.2. Начальные и граничные условия.....	106
3.3. Методы решения уравнений конвективного теплообмена .....	109
3.4. Определение теплоотдачи и сопротивления.....	110
3.5. Анализ процессов конвективного теплообмена и движения жидкости методом подобия.....	116
<b>Глава 4. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах и каналах .....</b>	<b>126</b>
4.1. Теплообмен в круглой и плоской трубах при граничных условиях первого рода .....	126
4.2. Теплообмен в круглой трубе при граничных условиях второго рода..	139
4.3. Теплообмен и сопротивление в кольцевой и плоской трубах при граничных условиях второго рода.....	152
4.4. Теплообмен и сопротивление в прямоугольных трубах и продольно обтекаемых решетках стержней.....	156
4.5. Теплообмен и сопротивление при переменных свойствах жидкости.	164
<b>Глава 5. Основы полуэмпирической теории турбулентности.....</b>	<b>181</b>
5.1. Краткие сведения о механизме турбулентности.....	181
5.2. Осредненные уравнения неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков .....	185

5.3. Замыкание системы осредненных уравнений турбулентности, коэффициенты турбулентного переноса . . . . .	192
5.4. Теория пути перемешивания . . . . .	202
5.5. Профиль скорости в турбулентном потоке . . . . .	206
5.6. Полузэмпирические уравнения для профиля скорости, коэффициента турбулентного переноса импульса и турбулентного числа Прандтля . . . . .	210
<b>Глава 6. Теплообмен в круглых трубах при турбулентном течении жидкости с постоянными физическими свойствами . . . . .</b>	<b>217</b>
6.1. Стабилизированный теплообмен при постоянной плотности теплового потока на стенке. Методы теоретического расчета . . . . .	217
6.2. Стабилизированный теплообмен при постоянной плотности теплового потока на стенке. Результаты теоретических расчетов и опытные данные . . . . .	225
6.3. Теплообмен на термическом начальном участке при постоянной плотности теплового потока на стенке . . . . .	235
6.4. Теплообмен при постоянной температуре стенки . . . . .	240
6.5. Течение и теплообмен на гидродинамическом начальном участке . . . . .	245
6.6. Теплообмен при переменной по длине плотности теплового потока на стенке . . . . .	254
6.7. Теплообмен при наличии в потоке внутренних источников тепла . . . . .	257
6.8. Нестационарный теплообмен . . . . .	263
6.9. Течение и теплообмен в шероховатых трубах . . . . .	270
<b>Глава 7. Теплообмен и сопротивление в круглых трубах при турбулентном течении жидкости с переменными физическими свойствами . . . . .</b>	<b>282</b>
7.1. Предварительные замечания . . . . .	282
7.2. Метод теоретического расчета . . . . .	284
7.3. Теплообмен и сопротивление при течении жидкости с переменной вязкостью . . . . .	288
7.4. Теплообмен и сопротивление при течении газа с переменными свойствами . . . . .	291
7.5. Теплообмен в одифазной околокритической области . . . . .	303
7.6. Теплообмен при течении диссоциирующего газа . . . . .	316
<b>Глава 8. Гидродинамика и теплообмен при турбулентном течении жидкости в каналах некруглого сечения . . . . .</b>	<b>322</b>
8.1. Предварительные замечания . . . . .	322
8.2. Теплообмен и сопротивление в кольцевых и плоских трубах . . . . .	323
8.3. Распределение скорости в призматических трубах и продольно обтекаемых пучках стержней . . . . .	337
8.4. Теплообмен в призматических трубах и продольно обтекаемых пучках стержней . . . . .	351
8.5. Сопротивление в призматических трубах и продольно обтекаемых пучках стержней . . . . .	361

---

<b>Глава 9. Гидродинамика и теплообмен при поперечном обтекании труб, в ребристых системах и насадках . . . . .</b>	<b>364</b>
9.1. Теплообмен и сопротивление при поперечном обтекании пучков труб . . . . .	364
9.2. Теплообмен и сопротивление в ребристых системах . . . . .	367
9.3. Теплообмен и сопротивление в насадках . . . . .	370
<b>Глава 10. Теплообмен при кипении в большом объеме . . . . .</b>	<b>375</b>
10.1. Основные понятия . . . . .	375
10.2. Механизм парообразования при пузырьковом кипении . . . . .	380
10.3. Теплоотдача при кипении . . . . .	392
10.4. Кризисы теплоотдачи . . . . .	402
10.5. Устойчивость режимов кипения к отклонениям конечной величины . . . . .	406
10.6. Теплообмен при кипении жидкости на оребренной поверхности . .	419
<b>Глава 11. Элементы гидродинамики двухфазного потока . . . . .</b>	<b>424</b>
11.1. Параметры двухфазного потока . . . . .	424
11.2. Режимы течения . . . . .	427
11.3. Сведения о структуре двухфазного потока . . . . .	432
11.4. Перепад давления в двухфазном потоке . . . . .	439
11.5. Критическое истечение двухфазного потока . . . . .	445
<b>Глава 12. Теплообмен при кипении в трубах . . . . .</b>	<b>453</b>
12.1. Влияние вынужденного движения на теплоотдачу при кипении . .	453
12.2. Механизм образования пузырьков . . . . .	455
12.3. Теплоотдача при кипении жидкости . . . . .	457
12.4. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах . . . . .	465
12.5. Кризис теплоотдачи при кипении воды в продольно омываемых пучках стержней и кольцевых каналах . . . . .	484
12.6. Теплообмен при повторном заливе . . . . .	490
<b>Глава 13. Основы теплового и гидравлического расчетов реакторов и парогенераторов . . . . .</b>	<b>497</b>
13.1. Задачи теплового и гидравлического расчетов. Выбор геометрических характеристик активной зоны . . . . .	497
13.2. Расчет активной зоны реактора ВВЭР . . . . .	500
13.3. Расчет активной зоны реактора РБМК . . . . .	510
13.4. Расчет активной зоны газоохлаждаемого реактора с шаровыми твэлами . . . . .	514
13.5. Анализ аварийных ситуаций . . . . .	519
<b>Приложение . . . . .</b>	<b>527</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>529</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>545</b>