

УДК 532.546:536.24  
ББК 30.124:31.31  
Т34

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Судаков А.В.  
доктор технических наук, профессор Суслов В.А.

**Готовский М.А., Деменок С.Л., Медведев В.В., Сивуха С.М.**  
Т34 Теплоотдача и сопротивление каналов с олуненными по-  
верхностями: монография. – СПб.: Страта, 2016. – 210 с.

ISBN 978-5-906150-59-2

В монографии рассмотрены вопросы, связанные с изучением теплоотдачи и сопротивления в каналах теплообменных и технологических устройств и аппаратов. Приведены сведения о влиянии высоких чисел Прандтля, наличия отложений, двухфазности потоков.

Предназначена для студентов, обучающихся по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Ядерная энергетика и технологии", "Физика", "Физико-технические науки и технологии", а также для специалистов, занимающихся решением теоретических и прикладных задач по гидродинамике, тепло- и массообмену.

Ил. 132. Табл. 9. Библиогр.: 96 назв.

УДК 532.546:536.24  
ББК 30.124:31.31

ISBN 978-5-906150-59-2

© М.А.Готовский, 2016  
© С.Л.Деменок, 2016  
© В.В.Медведев, 2016  
© С.М.Сивуха, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	12
1. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ARPD .....	15
1.1. Трубы с поперечной кольцевой накаткой .....	16
1.2. Интенсифицирующие поверхности, формованные сферическими лунками .....	19
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТДАЧИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАНАЛОВ С ПОВЕРХНОСТЯМИ ARPD ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ .....	25
2.1. Каналы на основе труб с кольцевой накаткой .....	25
2.2. Цилиндрические каналы с олуненными поверхностями .....	26
2.2.1. Изготовление олуненных труб .....	27
2.2.2. Эксперименты ЦКТИ по теплогидравлике кольцевых каналов с олуненной внутренней трубой .....	31
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТДАЧИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ОЛУНЕННЫХ ПЛОСКИХ КАНАЛОВ (В ТОМ ЧИСЛЕ С НЕСФЕРИЧЕСКИМИ ЛУНКАМИ) ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ .....	40
3.1. Исследование моделей олуненных каналов для охлаждения мощных электрогенераторов .....	40
3.1.1. Описание экспериментального стенда.....	43
3.1.2. Описание опытного участка .....	44
3.1.3. Экспериментальная процедура .....	48
3.2. Исследование конфузورных и дуффузорных олуненных каналов .....	55
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТДАЧИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ОЛУНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН .....	65
4.1. Исследование моделей олуненных каналов для охлаждения лопаток высокотемпературных газовых турбин.....	65
4.2. Влияние геометрических показателей рельефа из сферических лунок на уровень интенсификации теплообмена .....	71
4.2.1 Влияние плотности размещения лунок.....	72
4.2.2 Влияние относительной глубины лунок .....	73
4.2.3 Влияние относительной высоты канала над лунками .....	74
4.2.4 Влияние схемы размещения (шахматное или коридорное) лунок в регулярных луночных рельефах .....	75
4.3. Взаимное влияние противоположных трактовых поверхностей целевого канала.....	76

4.3.1 Щелевые каналы с размещением лунок только на одной из поверхностей .....	76
4.3.2 Щелевые каналы с олуниванием обеих противоположных поверхностей .....	77
4.4. Зависимости для теплообмена на поверхности регулярных рельефов из сферических углублений в плоском щелевом канале .....	80
4.5. Исследование роста сопротивления на поверхности с регулярным рельефом из сферических углублений в плоском щелевом канале .....	81
4.6. Влияние режима течения на зависимости для гидравлического сопротивления .....	84
5. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В ЛУНКАХ .....	89
6. ИССЛЕДОВАНИЯ ОЛУНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДАМИ CFD .....	103
6.1. Краткое введение .....	103
6.2. Постановка задачи .....	108
6.3. Вычислительные сетки .....	110
6.4. Результаты вычислительных экспериментов .....	111
7. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ СРЕД С ВЫСОКИМИ ЧИСЛАМИ ПРАНДТЛЯ В ОБЛАСТИ ПЕРЕХОДА ОТ ЛАМИНАРНОГО К ТУРБУЛЕНТНОМУ РЕЖИМУ ТЕЧЕНИЯ .....	123
8. ПРЕИМУЩЕСТВА КАНАЛОВ С ИСКУССТВЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ПО СРАВНЕНИЮ С ГЛАДКИМИ КАНАЛАМИ И КАНАЛАМИ С КРУПНЫМИ ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ВИДА НА ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ .....	137
9. ВЛИЯНИЕ ОЛУНЕНИЯ НА ТЕПЛОГИДРАВЛИКУ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ ПУЧКОВ ТРУБ .....	154
10. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ТЕПЛООТДАЧУ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ДЛЯ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ .....	162
10.1. Интенсификация теплоотдачи при поверхностном кипении воды в трубах .....	163
10.2. Интенсификация закризисного теплообмена .....	165
10.2.1 Обращенный кольцевой режим .....	166
10.2.2 Интенсификация теплоотдачи в закризисной зоне с помощью олунивания .....	167
10.3. Интенсификация теплообмена при конденсации .....	178
11. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОЛУНЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛООБМЕНА .....	184

11.1. Некоторые опытные данные по исследованию теплогидравлики каналов с несферическими лунками .....	184
11.2. Использование олунения непрерывных ребер для повышения эффективности оребрения .....	188
11.3. Некоторые сведения о применении луночных поверхностей в промышленности .....	193
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	198
Список литературы.....	200