

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ТЕПЛООБМЕН И ГИДРАВЛИКА В КАНАЛАХ ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН



E.LANBOOK.COM

ТЕПЛООБМЕН И ГИДРАВЛИКА В КАНАЛАХ ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН

*Монография
Издание второе, стереотипное*



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА
КРАСНОДАР
2023

УДК 621
ББК 31.363я73

Т 34 Теплообмен и гидравлика в каналах лопаток газовых турбин : монография / В. Г. Полищук, Н. П. Соколов, Н. Н. Кортиков [и др.]. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 292 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-507-48411-9

В монографии в основном обзорного характера собраны практически все сведения, полученные в нашей стране и частично за рубежом, по теплообменным и гидравлическим характеристикам каналов прямоугольного поперечного сечения с большим отношением сторон (щелевым) при установке в них шахматно или коридорно расположенных цилиндрических штырей-турбулизаторов (вставок) применительно к каналам охлаждения лопаток газовых турбин. Представлены данные об экспериментальном оборудовании и измерительной аппаратуре проведенных опытных исследований и приведены полученные эмпирические критериальные соотношения по теплогидравлическим характеристикам таких каналов. Анализ опытных данных позволил в сопоставимых условиях сравнить полученные различными авторами результаты и дать рекомендации по их использованию.

Более детально изложены методики и результаты проведенных в ЛПИ опытных исследований теплогидравлических характеристик рассматриваемых каналов с системами штырей-турбулизаторов.

Изложены имеющиеся методики проектировочных расчетов каналов охлаждения рассматриваемой конфигурации применительно к лопаткам газовых турбин, позволяющие выбирать некоторую оптимальную геометрию расстановки системы штырей-турбулизаторов и обеспечивающие заданное тепловое состояние охлаждаемых лопаток.

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и исследованием теплообменных систем различного назначения, а также для аспирантов и студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Энергетическое машиностроение».

УДК 621
ББК 31.363я73

Рецензент

И. А. БОГОВ — доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2023
© Коллектив авторов, 2023
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обозначения	3
Введение	6
1. Конфигурация каналов с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов и основные критерии подобия для описания теплогидравлических характеристик таких каналов	7
1.1. Конфигурация, конструктивное устройство и основные геометрические размеры каналов с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов	7
1.2. Предварительные замечания, особенности процесса передачи тепла в каналах с цилиндрическими штырями-турбулизаторами и граничные условия теплообмена.....	12
1.3. Критерии подобия для обработки и обобщения опытов по гидравлическим сопротивлениям и теплоотдачи в каналах с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов	14
1.4. Особенности процесса передачи тепла в охлаждающих каналах лопаток газовых турбин с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов	18
2. Обзор работ по опытному исследованию теплообмена и гидравлики в каналах с цилиндрическими штырями-турбулизаторами.....	21
2.1. Опытное исследование теплообмена и гидравлики каналов с многорядными системами коридорно и шахматно расположенных штырей-турбулизаторов, выполненное в ЦИАМ	21
2.2. Опытное исследование тепловых и гидравлических характеристик щелевых каналов с системами цилиндрических шахматно расположенных штырей-турбулизаторов, выполненное в ПО НЗЛ.....	24
2.3. Тепловое состояние и гидравлические характеристики охлаждаемых сопловых лопаток газовой турбины с системами штырей-турбулизаторов, установленных на газодинамическом стенде РАТИ	30
2.4. Результаты опытного исследования теплообмена на различных участках прямых каналов с системами расположенных в шахматном порядке цилиндрических штырей-турбулизаторов, полученные в МАИ.....	34
2.5. Результаты опытного исследования распределения характеристик теплоотдачи по рядам системы цилиндрических штырей-турбулизаторов и влияния их ориентации на тепловые и гидравлические характеристики модельного канала Аризонского университета (США).....	42
2.6. Результаты опытного исследования коэффициентов теплоотдачи в канале с шахматным расположением штырей-турбулизаторов, проведенного в исследовательском центре Льюиса NASA (США)	48
2.7. Результаты опытных исследований локальной теплоотдачи в плоских щелях с поперечными цилиндрическими перемычками (штырями-турбулизаторами), выполненяных в ЛКИ-НЗЛ	51

2.8. Результаты опытного исследования характеристик теплообмена и потерь на трении в щелевом канале с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов лаборатории Стратфордского отделения фирмы Avco Lycoming (США).....	55
2.9. Исследования теплогидравлических характеристик канала с двумя системами цилиндрических штырей-турбулизаторов в ЛНПО им. В. Я. Климова.....	58
2.10. Опытное исследование локальной и средней теплоотдачи в щелевых каналах с системами шахматно расположенных цилиндрических штырей-турбулизаторов, выполненное в ЛКИ-ЛНПО.....	60
2.11. Опытное исследование локальной и средней теплоотдачи в щелевых каналах с системами шахматно расположенных цилиндрических штырей-турбулизаторов, выполненное в ЛКИ-НЗЛ.....	65
2.12. Результаты опытного исследования теплообмена и гидравлического сопротивления в каналах прямоугольного поперечного сечения со штырьковыми интенсификаторами, проведенного вторично в ЦИАМ.....	69
2.13. Результаты опытных исследований локальных, зональных и средних коэффициентов теплоотдачи в плоском канале с системами штырей-турбулизаторов, выполненных в University of Leeds.....	83
2.14. Результаты опытного исследования теплогидравлических характеристик канала прямоугольного поперечного сечения с системой цилиндрических штырей-турбулизаторов при оттоке части потока теплоносителя через одну из боковых стенок канала, выполненного в ТУ.....	92
2.15. Результаты опытных исследований средних коэффициентов теплоотдачи в канале прямоугольного поперечного сечения с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов, выполненные в КНПО «Труд».....	102
2.16. Результаты опытного исследования компании P&W теплообмена и гидравлического сопротивления в канале прямоугольного сечения с системами шахматно расположенных укороченных цилиндрических штырей-турбулизаторов.....	105
2.17. Численное исследование (компьютерное моделирование) течения и теплообмена в прямолинейном канале прямоугольного поперечного сечения с системой шахматно расположенных цилиндрических штырей-турбулизаторов, выполненное в USF.....	117
3. Обзор работ по упорядочиванию и обобщению опытных данных по исследованию теплообмена и гидравлики в каналах с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов.....	131
3.1. Обзор результатов исследования теплоотдачи и гидравлики в шахматных пучках стержневых ребер применительно к условиям их использования в системах охлаждения лопаток газовых турбин, выполненный в ГТЕС.....	131

3.2. Результаты анализа и обобщения опытных данных по теплогидравлическим характеристикам плоских каналов с системами шахматно и коридорно расположенных цилиндрических штырей-турбулизаторов, выполненные в ЦКТИ	149
3.3. Результаты переработки и обобщения опытных данных ЦИАМ по тепловым и гидравлическим характеристикам каналов с системами штырей-турбулизаторов, выполненное в ХПИ.....	155
3.4. Результаты обобщения опытных данных по гидравлическим характеристикам каналов с системами штырей-турбулизаторов, представленные СПИМ	158
3.5. Результаты обобщения опытных данных по теплообмену и гидравлическому сопротивлению плоских щелевых каналов с цилиндрическими штырями-турбулизаторами ЛКИ-НЗЛ.....	159
3.6. Результаты упорядочивания и обобщения опытных данных по теплогидравлическим характеристикам плоских каналов с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов, выполненные в ОАО ЛМЗ	166
3.7. Анализ и сравнение результатов работ, связанных с опытным исследованием теплообмена и гидравлики в каналах с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов	172
4. Опытные исследования теплообмена и гидравлики в модельных каналах со штырями-турбулизаторами, выполненные в ЛПИ	184
4.1. Цели и задачи опытных исследований тепловых и гидравлических характеристик модельных каналов с системами штырей-турбулизаторов ...	184
4.2. Исследование теплообмена в модели выпускного канала выходной кромки лопатки газовой турбины с системой штырей-турбулизаторов	186
4.2.1. Экспериментальное оборудование и измерительная аппаратура.....	186
4.2.2. Методика обработки опытных данных, диапазоны изменения параметров и погрешности их измерения	191
4.2.3. Результаты опытного исследования теплообмена в модельном канале без штырей-турбулизаторов	193
4.2.4. Результаты опытного исследования теплообмена в модельном канале со штырями-турбулизаторами.....	201
4.3. Результаты опытного исследования теплообмена в прямом модельном канале со штырями-турбулизаторами.....	206
4.3.1. Экспериментальное оборудование и измерительная аппаратура для проведения опытного исследования	206
4.3.2. Методика проведения опытов и обработка опытных данных	209
4.3.3. Диапазоны изменения геометрических и режимных параметров каналов с исследованными системами штырей-турбулизаторов	211
4.3.4. Оценка погрешностей результатов опытного исследования	213
4.3.5. Результаты опытного исследования теплообмена и гидравлики в модельном канале без штырей-турбулизаторов	216

4.3.6. Характеристики теплоотдачи и гидравлические сопротивления в модельном канале с одним поперечным рядом штырей-турбулизаторов.....	220
4.3.6.1. Теплоотдача в канале с одним штырем-турбулизатором.....	220
4.3.6.2. Теплоотдача в канале с одним поперечным рядом турбулизаторов.....	222
4.3.6.3. Гидравлическое сопротивление канала с одним поперечным рядом штырей-турбулизаторов	229
4.3.7. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в канале с несколькими рядами цилиндрических штырей-турбулизаторов	230
4.3.7.1. Теплоотдача в канале с двумя рядами штырей-турбулизаторов.....	230
4.3.7.2. Теплоотдача в канале с тремя и четырьмя рядами штырей-турбулизаторов.....	237
4.3.7.3. Гидравлическое сопротивление канала с несколькими рядами штырей-турбулизаторов	242
5. Методики расчета теплового состояния элементов теплообменников с интенсификацией теплоотдачи в щелевых каналах с системами цилиндрических штырей-турбулизаторов.....	244
5.1. Разработка методики проектировочного расчета системы охлаждения лопатки турбины с перемычками-интенсификаторами теплоотдачи, выполненная в КАИ.....	244
5.2. Методика проектировочного расчета геометрических параметров системы цилиндрических штырей-турбулизаторов применительно к щелевым выпускным каналам в выходных кромках охлаждаемых лопаток СА турбины, предложенная в ПО НЗЛ.....	249
5.3. Разработка методики проектирования систем цилиндрических штырей-турбулизаторов с оптимальными параметрами применительно к охлаждаемому облопачиванию газовых турбин, предпринятая в ОАО ЛМЗ	255
5.4. Выбор критериальных соотношений для расчетов средней теплоотдачи и коэффициентов гидравлических сопротивлений в щелевых каналах с системами шахматно расположенных цилиндрических штырей-турбулизаторов.....	267
5.5. Расчет теплового состояния элемента теплообменника с интенсификацией теплоотдачи в щелевом канале с системой цилиндрических штырей-турбулизаторов.....	269
Заключение.....	273
Список литературы.....	280