

621.165
П18



ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

*ПАРОВЫЕ
ТУРБИНЫ:*

МАЛОРАСХОДНЫЕ РЕЖИМЫ
СТУПЕНЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ



Серия «ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ»

А. Л. Шубенко, В. Н. Голощапов, Л. Н. Быстрицкий,
Б. Н. Агафонов, С. В. Алёхина, В. И. Касилов

**ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ:
МАЛОРАСХОДНЫЕ РЕЖИМЫ
СТУПЕНЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Энерготех
Санкт-Петербург
2018

УДК 621.165
О-86

Паровые турбины: малорасходные режимы ступеней низкого давления /
А. Л. Шубенко, В. Н. Голошапов, Л. Н. Быстрицкий, Б. Н. Агафонов, С. В. Алёхина, В. И. Касилов// Издательство «Энерготех». — Санкт-Петербург, 2018. — 344 с. — Серия «Вопросы энергетики», вып. 11.

В монографии рассмотрены физические явления в ступенях паровых турбин с малым втулочным отношением, возникающие при уменьшении расхода рабочей среды на режимах ниже холостого хода. На основе анализа и обобщения результатов экспериментальных исследований на модельных и на натуральных объектах и расчетных исследований течения пространственного потока в ступени предложены методики определения границ развития отрыва потока от втулки и вращающегося вихря в периферийной области межвенцового зазора ступени, а также определения затрат мощности при работе ступени в области малорасходных режимов. Приведены примеры определения характеристик потока применительно к ЦНД турбины Т-250/300-240 УТЗ.

Монография адресована инженерно-техническому и эксплуатационному персоналу тепловых и атомных электростанций, работникам проектных организаций, научным сотрудникам исследовательских центров энергетического профиля. Она может быть полезна преподавателям ВУЗов, аспирантам и студентам, специализирующимся в области турбиностроения.

Ил. 122. Табл. 25. Библиогр. 152 назв.

ISBN 978-5-93364-017-2

© А. Л. Шубенко, В. Н. Голошапов,
Л. Н. Быстрицкий, Б. Н. Агафонов,
С. В. Алёхина, В. И. Касилов, 2018
© Издательство «Энерготех», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Основные условные обозначения и сокращения.....	8
Введение	12
Глава 1. Состояние энергогенерирующего оборудования тепловых электростанций и проблемы его дальнейшей эксплуатации.....	21
1.1. Анализ исследований, посвященных работе турбин и турбинных ступеней в переменных режимах.....	21
1.2. Малорасходные режимы работы ЦНД теплофикационных турбин	38
1.3. Теоретические исследования отрывных течений в турбинных ступенях	44
Глава 2. Анализ течения в элементах турбинной ступени при разных режимах работы.....	57
2.1. Переменный режим работы ступени и выбор критерия для определения характеристик областей отрыва.....	57
2.2. Условия исследования малорасходных режимов и экспериментальная установка.....	62
2.3. Геометрические характеристики исследованных ступеней	66
2.4. Результаты экспериментального исследования малорасходных режимов в турбинных ступенях.....	70
2.4.1. Привтулочный отрыв потока в турбинных ступенях с малым втулочным отношением.....	70
2.4.2. Анализ структуры потока в ступени с малым D_{cp} / l в широком диапазоне изменения режимов её работы	72
2.5. Характеристики привтулочного отрыва.....	88
2.5.1. Характеристики для описания положения граничной линии привтулочного отрыва.....	89
2.5.2. Определение положения граничной линии привтулочного отрыва.....	91
2.5.3. Определение максимального радиуса привтулочного отрыва	93
2.5.4. Определение положения переходного сечения	99
2.5.5. Определение положения точки начала привтулочного отрыва.....	102
2.5.6. Определение относительного объемного расхода, соответствующего присоединению границы привтулочного отрыва к выходным кромкам рабочих лопаток.....	106

2.5.7. Определение относительного объемного расхода, соответствующего зарождению привтулочного отрыва.....	109
2.5.8. Определение режима холостого хода ступеней с малым втулочным отношением по их геометрическим характеристикам	112
2.5.9. Сопоставление радиуса отрыва потока от втулки по результатам исследований разных авторов.....	114
2.6. Отрыв потока за рабочим колесом турбинной ступени при отсутствии за ним наружного цилиндрического обвода.....	117
2.7. Вращающийся вихрь в межвенцовом зазоре ступени и его характеристики	125
2.8. Пространственная структура потока и формирование областей отрыва в последней ступени при малорасходных режимах.....	138
Глава 3. Область малорасходных режимов ступени и затраты мощности для ее работы	156
3.1. Определение значения относительного объемного расхода для режима холостого хода ступени.....	157
3.2. Затраты энергии в турбинной ступени при малорасходных режимах	162
3.3. Работа турбинной ступени в компрессорном режиме.....	175
Глава 4. Малорасходные режимы работы турбин и развитие отрывных явлений в проточной части.....	189
4.1. Характеристики турбин, необходимые для оценки появления и развития отрывных явлений.....	189
4.2. Расчетное исследование изменения относительного объёмного расхода для ступеней турбины Т-250/300-240	202
4.3. Определение плотности пара в ступенях ЦНД при малорасходных режимах работы турбины Т-250/300-240	212
4.4. Оценка температуры пара в проточной части ЦНД при малорасходных режимах.....	215
Глава 5. Методика определения затрат энергии при возникновении и развитии областей отрывных течений в ступенях турбин	228
5.1. Некоторые положения и допущения, принятые при определении характеристик отрывных течений в ступенях ЦНД	228
5.2. Алгоритм определения затрат мощности в турбинной ступени с учетом структуры потока.....	233
5.2.1. Исходные данные	233
5.2.2. Определение расхода пара.....	235
5.2.3. Определение удельного объема пара за РК последней ступени	235

5.2.4. Определение режима холостого хода ступеней	239
5.2.5. Определение границы привтулочного отрыва.....	241
5.2.6. Определение положения нижней границы вихря, вращающегося в межвенцовом зазоре ступени.....	244
5.2.7. Определение параметров пара в межвенцовом и межступенчатом зазорах.....	245
5.2.8. Определение затрат мощности в ступенях при малорасходных режимах.....	247
5.2.9. Определение структуры потока при появлении привтулочного отрыва в предыдущей ступени	248
5.3. Структура потока в ступенях ЦНД турбины Т-250/300-240 при малорасходных режимах.....	252
5.4. Затраты механической энергии на вращение рабочего колеса турбинной ступени при малорасходных режимах.....	259
5.5. Рациональные условия эксплуатации турбины Т-250/300-240 при малорасходных режимах работы ЦНД.....	265
5.6. Метод углубления вакуума в конденсаторе турбины.....	275
5.7. Создание пиковой мощности на энергоблоке с турбиной Т-250/300-240	277
Приложение. Примеры определения затрат мощности в ступенях ЦНД турбины Т-250/300-240	282
Список литературы.....	331