

В. А. НОВИКОВ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
И МОНТАЖА ПАРОВЫХ
И ГАЗОВЫХ ТУРБИН**

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»
Кафедра «Турбины и двигатели»

*Посвящается светлой памяти
проф. Николая Яковлевича
Баумана*

В.А. Новиков

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МОНТАЖА ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Учебное пособие

Екатеринбург
2005

УДК (621.165+621.438).002.2(075.8)
ББК 31.363 + 30.81
Н73

Рецензенты:

кафедра энергетики Уральского государственного лесотехнического университета (зав. кафедрой проф., канд. техн. наук В. В. Мамаев);
зав. кафедрой «Паровые и газовые турбины» Московского энергетического института (технического университета) проф., д-р техн. наук В.Г. Грибин;
зам. главного технолога ЗАО «Уральский турбинный завод» М.В. Беляев;
проф., д-р техн. наук, начальник отдела расчетов СКБ(т) ЗАО «Уральский турбинный завод» Г.Д. Баринберг;
канд. техн. наук, главный конструктор ФГУДП «Атомэнергоремонт» концерна «Росэнергоатом» А. Г. Шастин

Новиков В. А.

Н73 Технология производства и монтажа паровых и газовых турбин:
Учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 670 с.
ISBN 5-321-00622-9

Описаны основы технологии машиностроения, технология обработки основных деталей паровых и газовых турбин, организация сборки, облопачивание и сборка роторов, сборка и испытание турбин на заводе, монтаж турбин. Отражены прогрессивные методы производства турбин.

Предназначено для студентов специальности «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели», а также для инженерно-технических работников, занимающихся производством, сборкой, монтажом и ремонтом ПТУ и ГТУ.

Библиогр.: 14 назв. Табл. 50. Рис. 282.

УДК (621.165+621.438).002.2(075.8)
ББК 31.363 + 30.81

ISBN 5-321-00622-9

© ГОУ ВПО «Уральский государственный
технический университет-УПИ», 2005
© В. А. Новиков, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения.....	3
Введение.....	5
Раздел первый	
ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН	
Глава 1. Научные основы технологии турбостроения.....	7
1.1. История развития турбостроения и технологии производства турбин в России.....	7
1.2. Общие основы технологии.....	14
1.3. Производственный и технологический процессы.....	16
1.4. Элементы технологических процессов.....	17
1.5. Технологический процесс как основа научной организации производства и труда.....	19
1.6. Производственная структура машиностроительного завода.....	23
1.7. Тип и характер производства.....	25
1.8. Общая характеристика турбинного производства. Методы обработки.....	27
1.9. Станочный парк турбинных заводов.....	29
1.10. Методы получения необходимой формы деталей.....	37
Глава 2. Организационные основы технологической подготовки производства.....	38
2.1. Единая система технологической подготовки производства.....	38
2.2. Организация технологической подготовки производства на турбинном заводе.....	40
2.3. Сроки подготовки производства.....	42
2.4. Типизация технологических процессов.....	44
2.5. Единая система технологической документации.....	48
Глава 3. Последовательность и общие правила разработки технологических процессов.....	50
3.1. Изучение конструкции и технологичность изделия.....	50
3.2. Выбор заготовок.....	54
3.3. Порядок разработки технологических процессов.....	57
3.4. Общие принципы разработки технологических процессов.....	58
3.5. Последовательность обработки.....	61
3.6. Припуски на механическую обработку.....	63
3.7. Технологическая дисциплина.....	67

Глава 4.	Принципы обеспечения точности и качества механической обработки.....	68
4.1.	Технологические основы достижения точности.....	68
4.2.	Показатели качества поверхности и их влияние на эксплуатационные свойства деталей турбин.....	72
Глава 5.	Базирование деталей и основы проектирования приспособлений.....	75
5.1.	Выбор технологических баз.....	75
5.2.	Общие сведения о приспособлениях.....	77
5.3.	Конструкция основных элементов приспособлений.....	81
Глава 6.	Себестоимость турбин и резервы ее снижения.....	90
6.1.	Оценка экономической эффективности технологических процессов производства.....	90
6.2.	Нормирование и повышение производительности труда	91
6.3.	Себестоимость турбины и методы ее расчета.....	94
Глава 7.	Направления развития технологии турбостроения...	95
7.1.	Особенности турбинного производства.....	95
7.2.	Совершенствование станочного парка турбинных заводов.....	97
7.3.	Применение прогрессивных методов обработки.....	100
7.4.	Гибкое автоматизированное производство.....	117
7.5.	Системы контроля параметров предмета производства в технологических процессах.....	119

Раздел второй

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ И НАПРАВЛЯЮЩИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Глава 1.	Лопаточный аппарат паровых и газовых турбин.....	122
1.1.	Назначение лопаток и условия их работы.....	122
1.2.	Материалы для изготовления лопаток.....	124
1.3.	Конструкции и виды лопаток.....	128
Глава 2.	Подготовка и разработка технологических процессов изготовления лопаток.....	135
2.1.	Основные требования к механической обработке лопаток.....	135
2.2.	Технологичность конструкций лопаток.....	152
2.3.	Виды заготовок, их влияние на технологические процессы обработки и экономичность.....	157
2.4.	Классификация и типизация лопаток.....	171
2.5.	Выбор технологических баз.....	181
2.6.	Общая характеристика технологических процессов обработки лопаток.....	186

Глава 3.	Типовые технологические процессы и операции обработки лопаток.....	189
3.1.	Схемы типовых технологических процессов обработки лопаток различных конструкций.....	189
3.2.	Предварительная обработка заготовок.....	224
3.3.	Обработка технологических баз.....	227
3.4.	Обработка хвостов лопаток.....	233
3.5.	Обработка рабочих частей лопаток.....	254
3.6.	Некоторые особенности обработки профильных частей длинных лопаток.....	271
3.7.	Обработка головок, сверление и шлифование лопаток...	279
3.8.	Контроль параметров лопаток.....	285
Глава 4.	Перспективы развития технологии лопаточного производства.....	292
4.1.	Повышение ресурса и надежности работы лопаток паровых и газовых турбин технологическими методами	292
4.2.	Совершенствование заготовок и освоение технологии изготовления турбинных и компрессорных лопаток из новых материалов.....	301
4.3.	Оптимизация методов и режимов обработки лопаток...	305
4.4.	Перспективные научные исследования и разработки в области развития технологии лопаточного производства.....	314

Раздел третий

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕЛЬНОКОВАННЫХ, КОМБИНИРОВАННЫХ СБОРНЫХ И СВАРНЫХ РОТОРОВ ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Глава 1.	Общие сведения о роторах турбин.....	316
1.1.	Конструкция роторов.....	316
1.2.	Детали и элементы роторов.....	321
Глава 2.	Обработка валов, цельнокованых и сварных роторов.....	325
2.1.	Назначение и условия работы.....	325
2.2.	Виды заготовок и применяемые материалы.....	325
2.3.	Виды испытаний заготовок.....	328
2.4.	Технические требования к механической обработке.....	334
2.5.	Типовой технологический маршрут обработки валов и роторов.....	334
2.6.	Предварительная черновая обработка валов и роторов...	335
2.7.	Окончательная чистовая обработка валов и роторов.....	343
2.8.	Особенности изготовления и обработки сварных роторов.....	355

Глава 3.	Обработка дисков роторов паровых и газовых турбин.....	360
3.1.	Назначение и условия работы.....	360
3.2.	Конструкция дисков.....	361
3.3.	Виды заготовок и применяемые материалы.....	362
3.4.	Виды испытаний заготовок.....	366
3.5.	Технические требования к механической обработке.....	371
3.6.	Технологические процессы обработки дисков.....	371
3.7.	Автофритирование турбинных дисков.....	382
Глава 4.	Обработка пазов и венцов у роторов и дисков.....	386
4.1.	Конструкция элементов, соединяющих диски и роторы с хвостами лопаток.....	386
4.2.	Обработка поверхностей пазов и венцов.....	388
Глава 5.	Обработка соединительных муфт.....	404
5.1.	Назначение и конструкция соединительных муфт.....	404
5.2.	Виды заготовок и применяемые материалы.....	407
5.3.	Технические требования.....	408
5.4.	Технологические процессы обработки муфт.....	409
Глава 6.	Обработка лабиринтовых уплотнений.....	411
6.1.	Конструкция уплотнений, технические требования.....	411
6.2.	Технологический процесс обработки гребенчатой втулки.....	413

Раздел четвертый

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ ЦИЛИНДРОВ ТУРБИН, КОРПУСОВ НАГНЕТАТЕЛЕЙ, КОРПУСОВ ПОДШИПНИКОВ, ВКЛАДЫШЕЙ, ДИАФРАГМ И УПЛОТНЕНИЙ

Глава 1.	Назначение и условия работы статора турбин и нагнетателей природного газа.....	416
1.1.	Общие сведения о статоре турбины.....	416
1.2.	Общие сведения о корпусе нагнетателя.....	417
Глава 2.	Корпуса цилиндров паровых и газовых турбин.....	419
2.1.	Особенности конструкции, технологичность корпусов.....	419
2.2.	Материалы для корпусов турбин и виды заготовок.....	421
2.3.	Основные технические требования к механической обработке корпусов.....	424
2.4.	Типовые конструкции корпусов.....	426
2.5.	Особенности обработки литых заготовок корпусов цилиндров.....	429
2.6.	Особенности обработки сварно-литых заготовок корпусов цилиндров.....	432
2.7.	Особенности обработки заготовки двухстенных корпусов цилиндров.....	434

2.8.	Особенности обработки сварных корпусов цилиндров...	435
2.9.	Выбор баз для обработки и измерений.....	438
Глава 3.	Предварительная обработка корпусов цилиндров паровых и газовых турбин.....	440
Глава 4.	Окончательная обработка корпусов цилиндров паровых и газовых турбин.....	444
Глава 5.	Технологический процесс механической обработки корпуса нагнетателя.....	452
Глава 6.	Способы растачивания корпусов цилиндров паровых и газовых турбин.....	458
6.1.	Растачивание корпусов на токарно-карусельных станках.....	458
6.2.	Растачивание корпусов на расточных станках.....	464
6.3.	Специальные способы растачивания корпусов цилиндров.....	473
Глава 7.	Гидравлические испытания корпусов турбин.....	481
7.1.	Цели и режимы гидравлического испытания.....	481
7.2.	Оснастка и приспособления для проведения гидравлического испытания.....	482
Глава 8.	Механическая обработка вкладышей и корпусов подшипников.....	486
8.1.	Назначение и условия работы опорных и упорных подшипников.....	486
8.2.	Типовой технологический процесс механической обработки вкладыша опорного подшипника.....	488
8.3.	Типовой технологический процесс механической обработки вкладыша опорно-упорного подшипника.....	489
8.4.	Заливка вкладышей баббитом.....	496
8.5.	Механическая обработка корпусов подшипников.....	497
Глава 9.	Технология изготовления диафрагм и сегментов сопел.....	498
9.1.	Назначение, условия работы и применяемые материалы	498
9.2.	Процесс изготовления литых заготовок для диафрагм...	501
9.3.	Требования к механической обработке диафрагм.....	504
9.4.	Типовые технологические процессы механической обработки сварных диафрагм.....	504
9.5.	Типовые технологические процессы механической обработки литых диафрагм.....	513
9.6.	Особенности обработки диафрагм с косым разъемом....	515
9.7.	Испытание диафрагм на прогиб.....	519
9.8.	Типовые технологические процессы механической обработки сегментов сопел паровых турбин.....	522

Глава 10.	Технология изготовления деталей уплотнений.....	525
10.1.	Назначение и конструкция уплотнений.....	525
10.2.	Применяемые материалы и технические требования к изготовлению.....	527
10.3.	Типовой технологический процесс изготовления уплотнительных колец.....	527

Раздел пятый

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Глава 1.	Назначение, конструкция и состояние поставки конденсаторов.....	533
1.1.	Назначение и конструкция конденсаторов.....	533
1.2.	Виды поставки конденсатора.....	535
Глава 2.	Технологические процессы механической обработки частей конденсатора.....	536
2.1.	Обработка корпуса конденсатора.....	536
2.2.	Обработка трубных досок и перегородок.....	537
2.3.	Обработка трубок.....	538

Раздел шестой.

СБОРКА ТУРБИН

Глава 1.	Общие вопросы технологии сборки.....	540
1.1.	Основные понятия и определения.....	540
1.2.	Методы сборки.....	540
1.3.	Детали и узлы турбины.....	541
1.4.	Схемы и графики сборки.....	542
1.5.	Технологичность конструкции деталей и узлов турбины в отношении сборки.....	545
1.6.	Подготовка деталей к сборке.....	546
1.7.	Основы разработки технологических процессов сборки.....	547
1.8.	Пути повышения производительности сборки.....	549
Глава 2.	Облопачивание роторов, рабочих колес и статоров турбин.....	551
2.1.	Общие положения.....	551
2.2.	Подготовка к облопачиванию.....	553
2.3.	Облопачивание роторов и рабочих колес.....	554
	2.3.1. Облопачивание рабочих колес и цельнокованых роторов с Т-образными пазами и грибовидными гребнями.....	554
	2.3.2. Облопачивание рабочих колес с вильчатыми гребнями.....	556
	2.3.3. Облопачивание дисков с торцевыми «елочными» радиусными пазами.....	558
2.4.	Облопачивание статора.....	559
2.5.	Обандаживание.....	560

Глава 3.	Сборка роторов турбин.....	562
3.1.	Подготовка к сборке.....	562
3.2.	Насадка рабочих колес.....	563
Глава 4.	Балансировка дисков и роторов турбин.....	568
4.1.	Виды неуравновешенности.....	568
4.2.	Статическая балансировка	572
4.3.	Динамическая балансировка.....	574
Глава 5.	Стеновая сборка турбин.....	576
5.1.	Общие сведения.....	576
5.2.	Стенды для испытания и сборки турбин.....	578
5.3.	Сборка фундаментных рам с корпусами цилиндров и подшипников.....	581
5.4.	Установка и центровка опорных вкладышей.....	582
5.5.	Установка, выверка и центровка корпусов цилиндров и подшипников турбины.....	586
	5.5.1. Центровка по струне.....	586
	5.5.2. Центровка по уровню.....	587
	5.5.3. Проверка опорных реакций при помощи динамометров.....	590
	5.5.4. Центровка корпусов цилиндров и подшипников турбины по расточкам.....	592
	5.5.5. Центровка корпусов цилиндров и подшипников турбины при помощи оптических, оптико-электронных и лазерных приборов.....	594
5.6.	Центровка роторов по полумуфтам.....	599
	5.6.1. Центровка смежных роторов с четырьмя опорными вкладышами.....	599
	5.6.2. Центровка смежных роторов с тремя опорными вкладышами.....	602
5.7.	Центровка обойм диафрагм, паровых и масляных уплотнений и установка соплового аппарата.....	604
	5.7.1. Центровка обойм диафрагм.....	604
	5.7.2. Центровка диафрагм.....	606
	5.7.3. Сборка и центровка паровых и масляных уплотнений.....	608
	5.7.4. Сборка соплового аппарата.....	611
5.8.	Проверка зазоров проточной части.....	612
5.9.	Сборка упорного подшипника.....	615
5.10.	Контроль смещения осей роторов и перекоса торцов полумуфт.....	617
5.11.	Подготовка к закрытию и закрытие турбины для проведения испытаний.....	620
5.12.	Особенности сборки газовых турбин.....	622

5.13.	Испытание турбин на заводском стенде.....	624
-------	---	-----

Раздел седьмой

**ОСНОВЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СБОРКА И МОНТАЖ УЗЛОВ
РЕГУЛИРОВАНИЯ, ЗАЩИТЫ И ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТУРБИНЫ**

<i>Глава 1.</i>	Технология изготовления деталей узлов регулирования турбины.....	629
<i>Глава 2.</i>	Сборка и монтаж узлов регулирования, защиты и парораспределения турбины.....	631
<i>Глава 3.</i>	Сборка и монтаж масляной системы.....	633

Раздел восьмой

МОНТАЖ ТУРБИН

<i>Глава 1.</i>	Подготовительные работы для проведения монтажа турбин.....	636
1.1.	Проектно-техническая документация.....	636
1.2.	Организация монтажных работ в машинном зале.....	637
1.3.	Проверка и подготовка фундамента к монтажу.....	638
<i>Глава 2.</i>	Монтаж конденсатора.....	640
2.1.	Сборка и установка корпуса конденсатора.....	641
2.2.	Установка и вальцовка конденсаторных трубок.....	642
2.3.	Сборка конденсатора с турбиной.....	643
<i>Глава 3.</i>	Типовой технологический процесс монтажа турбины.....	644
3.1.	Последовательность монтажных работ.....	644
3.2.	Сборка цилиндров.....	644
3.3.	Установка и выверка корпусов цилиндров и подшипников.....	647
3.4.	Установка вкладышей подшипников.....	648
3.5.	Установка и проверка центровки роторов.....	649
3.6.	Установка постоянных подкладок.....	649
3.7.	Установка, проверка центровки деталей и зазоров в проточной части.....	651
3.8.	Подливка фундаментных рам.....	652
3.9.	Закрытие турбины под испытания.....	653
3.10.	Нанесение тепловой изоляции.....	655
<i>Глава 4.</i>	Пуск и наладка турбоагрегата после монтажа.....	656
4.1.	Предпусковые работы.....	656
4.2.	Пуск турбины и испытание на холостом ходу.....	658
4.3.	Нагружение турбины.....	658
4.4.	Останов турбины. Сдача турбоагрегата в эксплуатацию.....	659
Список литературы.....		661