

В. А. ФЁДОРОВ, О. О. МИЛЬМАН

КОНДЕНСАТОРЫ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК



Москва 2013

УДК 621.175/177
ББК 231.363
Ф33

Рецензенты:

академик РАН *А. И. Леонтьев*;
д-р техн. наук, проф. *В. Г. Грибин*

Ф33 **Фёдоров В. А.** Конденсаторы паротурбинных установок / В. А. Фёдоров, О. О. Мильман. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 560 с.

ISBN 978-5-7038-3826-6

В настоящей монографии рассматриваются четыре типа конденсаторов:

- с конденсацией пара на наружной поверхности труб и течением воды внутри труб;
- с конденсацией пара внутри труб и продольно-поперечным течением охлаждающей воды;
- с конденсацией пара внутри труб и течением воздуха в межтрубном пространстве;
- конденсаторы пара с промежуточным двухфазным теплоносителем.

В ходе экспериментальных исследований выявлены новые, ранее не изученные, физические явления.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований реализованы авторами на ОАО «Калужский турбинный завод» и в ЗАО «НПВП «Турбокон» применительно к заказам предприятий энергетики, Минобороны РФ, ГК «Росатом» и ОАО «Газпром».

УДК 621.175/177
ББК 231.363

ISBN 978-5-7038-3826-6

© Фёдоров В. А., Мильман О. О., 2013
© Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013

ОБОЗНАЧЕНИЯ

Основные принятые обозначения

α	– коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)
β	– объемное расходное паросодержание
δ	– толщина пленки, м
λ	– коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
σ	– коэффициент поверхностного натяжения, Н/м
μ	– коэффициент динамической вязкости, Па·с
ν	– коэффициент кинематической вязкости, м ² /с
ρ	– плотность, кг/м ³
$\rho w, g$	– массовая скорость, плотность потока, кг/(м ² ·с)
$a = \lambda / \rho c_p$	– коэффициент температуропроводности, м ² /с
c	– удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)
c_f	– коэффициент трения
f	– частота, Гц
g	– ускорение свободного падения, м/с ²
G	– расход, кг/с
k	– коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)
l	– длина, м
p	– давление, Па
q	– плотность теплового потока, Вт/м ²
r	– теплота парообразования, Дж/кг
R	– термическое сопротивление, м ² ·К/Вт
$\Delta t, \Delta T, \vartheta$	– температурная разность, напор, К
t, τ	– период, время, с
T, t	– температура, К, °С
V	– объем, м ³
x	– массовое расходное паросодержание
w	– скорость, м/с
W	– расход воды, м ³ /ч
$Bi = \alpha \delta / \lambda_m$	– число Био
$Eu = \Delta p / \rho w^2$	– число Эйлера
$Fo = \alpha \tau / \delta^2$	– число Фурье
$Fr = w^2 / gd$	– число Фруда
$Ga = gd^3 / \nu^2$	– число Галилея
$Nu = \alpha d / \lambda, \alpha l / \lambda$	– число Нуссельта
$Pr = \nu / a$	– число Прандтля

$Re = wd/\nu$ — число Рейнольдса

$St = wd/a$ — число Стентона

Индексы

вз — воздух

в — вода

вх — параметры на входе

вых — параметры на выходе

ж — жидкая фаза

кр — критические параметры

п, г — паровая и газовая фазы

Сокращения

АЭС — атомная электростанция

ВКУ — воздушно-конденсационная установка

ДУУ — дроссельно-увлажняющее устройство

НКТ — неконденсирующие газы

ПВС — паровоздушная смесь

ПТУ — паротурбинная установка

ТЭС — тепловая электростанция

ТЭЦ — теплоэлектроцентраль

ЭУ — экспериментальная установка

ПРЕДИСЛОВИЕ

В монографии В. А. Федорова и О. О. Мильмана обобщен и описан обширный экспериментальный материал, полученный авторами в области тепло- и массопереноса в конденсационных установках паровых турбин и технологических установок. Часть материалов использована авторами из их ранее опубликованных книг. Они дополнены новыми исследованиями в области воздушно-конденсационных установок, высокоэффективных аппаратов с поддержанием постоянной скорости конденсирующегося пара и др. В этом направлении достигнуты коэффициенты теплопередачи в 1,5–2 раза превышающие показатели обычных конденсационных устройств. Представляет также интерес анализ параметров теплоэнергетической установки минимальных габаритов, выполненный в рамках традиционной термодинамики.

Большая масса и габариты конденсационных устройств побуждают инженеров и ученых постоянно искать пути повышения эффективности их работы. Положение усугубляется сложностью процесса конденсации пара из смеси с неконденсирующимися газами. Новые подходы к проблеме, физические и математические модели, разработанные авторами, дают возможность успешного применения численных методов анализа этих процессов и оптимизации конструкции конденсаторов.

Важная составляющая монографии – сочетание физического эксперимента с расчетными методиками. Это дает необходимый запас надежности для расчета и проектирования конденсационных устройств.

Представленный в книге экспериментальный материал – важный этап в исследованиях, которые авторы продолжают активно развивать в теоретическом и прикладном направлениях с участием ведущих ученых МГТУ, МЭИ и ИТФ СО РАН, а также в создании установок, не имеющих аналогов в мировом энергомашиностроении.

Монография вызовет несомненный интерес у ученых-теплофизиков. Она может быть полезна специалистам в области расчета и проектирования теплообменных аппаратов и студентам старших курсов теплоэнергетических специальностей.

Академик РАН А. И. Леонтьев

ВВЕДЕНИЕ

Конденсаторы паротурбинных установок предназначены для конденсации отработавшего пара. Их габариты и металлоемкость зависят от интенсивности теплообмена, которая, в свою очередь, зависит от выбранной конструкции конденсатора, организации движения рабочих сред, характеристик теплообменной поверхности и ряда других параметров. Течение многофазных рабочих сред имеет сложный трехмерный характер и в настоящее время не поддается численному моделированию без использования экспериментальных данных. Габариты и металлоемкость конденсаторов в значительной мере определяют соответствующие характеристики паротурбинных установок и их назначение.

Авторами выполнен термодинамический анализ циклов с турбинными установками, работающими по замкнутому циклу, подтверждено наличие минимума их массогабаритных характеристик в зависимости от параметров рабочих сред.

Установлено, что в конденсаторах с двухфазным теплоносителем и высокой интенсивностью теплообмена существуют режимы, в которых необходимо учитывать сопряженность тепломассообменных процессов, включая геометрические характеристики и свойства теплообменной поверхности.

В настоящей монографии рассматриваются четыре типа конденсаторов, с созданием и совершенствованием которых связана значительная часть исследований, выполненных авторами во время работы в ЗАО НПП «Турбокон» и ОАО «Калужский турбинный завод». К этим конденсаторам относятся:

- конденсаторы с конденсацией пара на наружной поверхности труб и течением воды внутри труб;
- конденсаторы с конденсацией пара внутри труб и продольно-поперечным течением охлаждающей воды;
- конденсаторы с конденсацией пара внутри труб и течением воздуха в межтрубном оребренном пространстве;
- конденсаторы пара с промежуточным двухфазным теплоносителем.

В ходе экспериментальных исследований выявлены новые, ранее не изученные, физические явления:

- оптимальная скорость конденсирующейся паровоздушной смеси;
- предельные тепловые нагрузки;
- теплогидравлические автоколебания при конденсации пара внутри труб при постоянных расходах пара на входе и конденсата на выходе из них;
- теплогидравлические автоколебания и резонанс при кипении промежуточного теплоносителя внутри труб систем естественной циркуляции;
- основным фактором, определяющим снижение коэффициента теплопередачи, является не расход воздуха в существующих конденсаторах

на входе в них, а величина застойных зон, в которых скапливается воздух;

- существенное влияние на характеристики конденсаторов оказывает производительность и тип воздухоудаляющих устройств.

В ходе выполненных экспериментальных исследований достигнуты рекордные в мире показатели среднего по теплообменной поверхности коэффициента теплопередачи.

Установлено единое явление для всех типов конденсаторов, уменьшающее коэффициент теплопередачи по сравнению с расчетом, – наличие участков теплообменной поверхности, заполненных парогазовой смесью с высокой концентрацией воздуха.

Разработаны конструкции и испытаны конденсаторы пара с высоким коэффициентом теплопередачи, обеспечивающие сдув воздушного диффузионного пограничного слоя с поверхности теплообмена за счет высокой скорости пароводяной смеси.

Обоснованный выбор конденсаторов паротурбинных установок (ПТУ) с газоудаляющими устройствами в значительной степени определяет энергоэффективность и экологическую чистоту последних. Например, уменьшение абсолютного давления в конденсаторе на 1 кПа ведет к росту КПД ПТУ примерно на 1%. Использование воздушных конденсаторов позволяет исключить выбросы влаги в атмосферу и создавать энергосберегающие электрогенерирующие установки в местах, где отсутствуют источники воды для промышленных целей, например на магистральных газопроводах ОАО «Газпром».

Результаты научных исследований, финансово поддерживаемых Минобрнауки России, РФФИ, ЗАО «НПВП «Турбокон», полностью реализованы авторами на ОАО «Калужский турбинный завод» и в ЗАО «НПВП «Турбокон» применительно к заказам предприятий энергетики, Минобороны РФ, ГК «Росатом», ОАО «Газпром».

При подготовке монографии использовались результаты исследований, опубликованные в научно-технических журналах в соавторстве с сотрудниками МЭИ (Г. Г. Яньков, В. И. Артемов, Ю. Б. Зудин), Института теплофизики СО РАН (Н. А. Прибатурин, С. И. Лежнин), ФГУП «НИКИЭТ им. Н. А. Доллежалея» (В. А. Шишкин), ОАО «ЦКБМТ «Рубин» (С. Е. Волков).

Большую поддержку в выборе типов конденсаторов, направлений исследований и определении физических моделей тепломассообменных процессов оказали академики РАН В. И. Кирюхин и А. И. Леонтьев.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ	3
<i>Основные принятые обозначения</i>	3
<i>Индексы</i>	4
<i>Сокращения</i>	4
ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ	8
1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН	8
1.1.1. Принципиальная схема	8
1.1.2. Элементы конденсационной установки	10
1.2. ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ С МИНИМАЛЬНЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, РАБОТАЮЩИЕ ПО ЗАМКНУТОМУ ЦИКЛУ	12
1.2.1. Приближенный анализ термодинамических циклов	12
1.2.2. Минимизация габаритов и научно-технические проблемы	16
1.3. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	22
1.3.1. Влияние пространственных форм теплообменной поверхности и свойств материала при пленочной и капельной конденсации на наружной поверхности труб	22
1.3.2. Влияние пульсаций расхода однофазного теплоносителя	26
1.3.3. Влияние пространственно-временных характеристик и свойств материала при кипении теплоносителя в большом объеме и конденсации пара внутри труб	27
1.3.4. Влияние теплогидравлических пульсаций двухфазных потоков и сложных граничных условий	30
1.4. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ	33
1.4.1. Квазистационарный теплообмен при конденсации внутри труб	33
1.4.2. Переходные режимы	36
Выводы	39
ГЛАВА 2. КОНДЕНСАТОРЫ С КОНДЕНСАЦИЕЙ ПАРА НА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ	41
2.1. О КОМПЛЕКСНОМ ПОДХОДЕ К АНАЛИЗУ КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК	41
2.1.1. Общие положения	41

2.1.2.	Взаимосвязь элементов конденсационной установки	43
2.1.3.	Схемы включения конденсаторов	46
2.2.	ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ	48
2.2.1.	Основные уравнения.....	48
2.2.2.	Изменение температур пара и воды по поверхности конденсатора. Средний температурный напор.....	49
2.2.3.	Коэффициент теплопередачи в конденсаторе	52
2.3.	ПЛЕНОЧНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ ЧИСТОГО ПАРА	57
2.3.1.	Некоторые особенности процесса конденсации	57
2.3.2.	Пленочная конденсация неподвижного пара на охлаждаемой стенке.....	61
2.3.3.	Конденсация неподвижного пара на горизонтальных трубных пучках	64
2.3.4.	Влияние скорости пара и геометрии пучка на теплоотдачу при конденсации	78
2.4.	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ ПАРА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБНЫХ ПУЧКАХ.....	85
2.4.1.	Некоторые вопросы исследования конденсации пара в натурных конденсаторах.....	85
2.4.2.	Механизм движения конденсата в межтрубном пространстве.....	88
2.4.3.	Течение пленки конденсата и распределение температурного напора по периметру трубы.....	95
2.4.4.	Распределение тепловых нагрузок по зонам поверхности охлаждения конденсаторов	97
2.4.5.	Обобщенная зависимость для расчета теплообмена при конденсации пара в присутствии воздуха.....	107
2.4.6.	Массообмен при конденсации пара в присутствии неконденсирующихся газов	111
2.4.7.	Пленочная конденсация пара на пучке наклонных трубок.....	116
2.5.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРУБНЫХ ПУЧКОВ КОНДЕНСАТОРОВ.....	125
2.5.1.	Принципы проектирования и компоновки трубных пучков	125
2.5.2.	Конструкции конденсаторов	129
2.5.3.	Обзор инженерных методов расчета коэффициента теплопередачи.....	141
2.5.4.	Анализ методик расчета конденсаторов	146
2.5.5.	Методика расчета площади поверхности охлаждения конденсатора	151
2.5.6.	Оценка эффективности трубных пучков	160
2.5.7.	Материалы трубок конденсаторов	161
2.5.8.	Высокоэффективные конденсаторы пара с вертикальным трубным пучком	164
2.5.9.	Высокоэффективный конденсатор с горизонтальным трубным пучком	172

2.5.10.	Особенности совместной работы эжектора и конденсатора	176
2.6.	ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЖИМЫ КОНДЕНСАТОРОВ.....	178
2.6.1.	Обобщенная характеристика переменных режимов	178
2.6.2.	Минимальное давление в конденсаторе	182
2.6.3.	Работа конденсатора при изменении тепловой нагрузки.....	184
2.6.4.	Работа конденсатора при изменении расхода и температуры воды.....	187
2.6.5.	Влияние присосов воздуха на работу конденсатора	190
Выводы		193
ГЛАВА 3.	КОНДЕНСАТОРЫ С КОНДЕНСАЦИЕЙ ПАРА	
	ВНУТРИ ТРУБ	194
3.1.	АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ ПРИ СОЗДАНИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С КОНДЕНСАЦИЕЙ ПАРА ВНУТРИ ТРУБ	194
3.1.1.	Конструкции теплообменных аппаратов.....	194
3.1.2.	Режимы течения двухфазного потока внутри труб.....	196
3.1.2.1.	<i>Вертикальные потоки</i>	196
3.1.2.2.	<i>Горизонтальные потоки</i>	200
3.1.2.3.	<i>Снарядный режим течения</i>	204
3.1.3.	Теплообмен при конденсации внутри труб.....	212
3.1.3.1.	<i>Теплообмен и гидравлическое сопротивление</i>	213
3.1.3.2.	<i>Теплообмен при наличии в паре неконденсирующихся газов</i>	222
3.1.3.3.	<i>Влияние нестационарности на теплообмен</i>	229
3.1.4.	Теплогидравлическая неустойчивость при конденсации пара внутри труб.....	236
3.1.4.1.	<i>Классификация неустойчивостей парожидкостного потока</i>	236
3.1.4.2.	<i>Неустойчивость в переходных режимах</i>	239
3.1.4.3.	<i>Автоколебания с переменными расходами теплоносителя на входе и выходе</i>	247
3.1.4.4.	<i>Пульсации давлений при схлопывании паровых снарядов</i>	253
3.2.	НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВНУТРЕННЕЙ КОНДЕНСАЦИИ В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ	257
3.2.1.	Экспериментальное исследование теплообменных аппаратов с внутритрубной конденсацией пара	257
3.2.2.	Особенности теплообмена при конденсации пара внутри труб	257
3.2.2.1.	<i>Методические вопросы экспериментального исследования</i>	257
3.2.2.2.	<i>Влияние характеристик теплообменной поверхности</i>	262
3.2.2.3.	<i>Переохладение конденсата при полной конденсации</i>	264
3.2.2.4.	<i>Влияние неконденсирующихся газов</i>	265
3.2.2.5.	<i>Теплообмен и гидравлическое сопротивление в кольцевых каналах</i>	266

3.2.3.	Теплогидравлические автоколебания при конденсации пара внутри труб с постоянным расходом теплоносителя на входе и выходе	271
3.2.3.1.	<i>Методические вопросы экспериментальных исследований</i>	272
3.2.3.2.	<i>Экспериментальное исследование</i>	274
3.2.3.3.	<i>Приближенная физическая модель</i>	276
3.2.3.4.	<i>Обобщение экспериментальных данных</i>	279
3.2.3.5.	<i>Методы борьбы с автоколебаниями</i>	281
3.2.4.	Резонансные явления при полной конденсации пара в охлаждаемой трубе	286
3.2.5.	Результаты теоретического моделирования	289
3.2.6.	Теплогидравлические автоколебания при конденсации пара внутри труб многоходовых теплообменных аппаратов	292
3.2.6.1.	<i>Методические вопросы экспериментальных исследований</i>	292
3.2.6.2.	<i>Результаты экспериментальных исследований</i>	294
3.2.6.3.	<i>Приближенная физическая модель теплогидравлических автоколебаний</i>	299
3.2.6.4.	<i>Методы борьбы с автоколебаниями</i>	304
3.2.7.	Результаты экспериментальных исследований форсированного конденсатора пара	309
3.2.7.1.	<i>Описание экспериментальной установки</i>	310
3.2.7.2.	<i>Результаты экспериментальных исследований</i>	313
ГЛАВА 4.	ВОЗДУШНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ	326
4.1.	СХЕМЫ ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ	326
4.1.1.	Типы схем	326
4.1.2.	Сопоставление схем по теплотехнической эффективности	328
4.1.3.	Гибридные системы охлаждения	331
4.2.	ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ВОЗДУШНО-КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК	332
4.2.1.	Типы оребренных поверхностей	332
4.2.2.	Оптимальные размеры оребрения труб	334
4.2.3.	Теплоотдача в трубных пучках	337
4.2.4.	Теплоотдача внутри труб	348
4.3.	КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНО-КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК	350
4.3.1.	Конструктивно-компоновочные схемы	350
4.3.2.	Примеры конструктивного оформления	350
4.3.3.	Модули для воздушно-конденсационных установок	363
4.3.4.	Патентные разработки	366
4.3.4.1.	<i>Конструкции ВКУ</i>	366
4.4.	ВЕНТИЛЯТОРЫ ДЛЯ ВОЗДУШНО-КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК	381

4.4.1.	Конструкции вентиляторов	381
4.4.2.	Технические и конструктивно-компоновочные характеристики вентиляторов	383
4.4.3.	Результаты испытаний вентиляторов в составе макетов воздушных конденсаторов.....	390
4.5.	НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СОЗДАНИИ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ	400
4.5.1.	Опыт эксплуатации.....	400
4.5.2.	Основы создания воздушных конденсаторов типа ABC GI. Физические основы создания ВКУ	410
4.5.3.	Описание экспериментального стенда и конструкций макетов.....	415
4.5.4.	Результаты экспериментальных исследований.....	418
4.5.5.	Анализ результатов исследований	426
4.5.6.	Потери давления при конденсации пара.....	438
ГЛАВА 5.	КОНДЕНСАТОРЫ ПАРА С ДВУХФАЗНЫМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ.....	442
5.1.	Анализ существующих данных	442
5.1.1.	Кризисы теплообмена при кипении жидкости в вертикальных трубах контуров естественной циркуляции	442
5.1.2.	Теплогидродинамическая неустойчивость при кипении внутри труб	450
5.1.2.1.	<i>Неустойчивость при вынужденном течении.....</i>	<i>451</i>
5.1.2.2.	<i>Неустойчивость при естественной циркуляции.....</i>	<i>455</i>
5.2.	Результаты исследований теплогидравлических процессов при кипении жидкости ВНУТРИ ТРУБ КОНДЕНСАТОРОВ.....	457
5.2.1.	Теплогидравлические автоколебания при кипении жидкости в вертикальных трубах низконапорных систем естественной циркуляции.....	457
5.2.1.1.	<i>Методические вопросы экспериментального исследования.....</i>	<i>457</i>
5.2.1.2.	<i>Экспериментальное исследование теплогидравлических процессов при допредельных тепловых нагрузках.....</i>	<i>465</i>
5.2.1.3.	<i>Приближенная физическая модель автоколебаний</i>	<i>484</i>
5.2.2.	Предельные тепловые нагрузки при кипении жидкости в вертикальных трубах низконапорных контуров с естественной циркуляцией	499
5.2.2.1.	<i>Экспериментальное исследование</i>	<i>500</i>
5.2.2.2.	<i>Температурный режим парогенерирующих труб</i>	<i>506</i>
5.2.2.3.	<i>Модель для расчета предельных нагрузок.....</i>	<i>508</i>
5.2.2.4.	<i>Обобщение экспериментальных данных.....</i>	<i>510</i>
5.2.2.5.	<i>Предельные тепловые нагрузки и кризисы теплообмена при кипении</i>	<i>511</i>
Выводы		513
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		514

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОНОГРАФИИ	
«КОНДЕНСАТОРЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН»	516
SUMMARY OF THE MONOGRAPH	
«THE STEAM TURBINE CONDENSER»	520
ЛИТЕРАТУРА	524
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1.....	524
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2.....	526
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3.....	533
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 4.....	543
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 5.....	547