

621.165

П42

Ю.М. МАЦЕВИТЫЙ, Н.Г. ШУЛЬЖЕНКО,
В.Н. ГОЛОЩАПОВ, П.П. ГОНТАРОВСКИЙ, В.Г. ДЕДОВ,
А.О. КОСТИКОВ, А.В. ПАВЛЕНКО, А.В. РУСАНОВ,
В.В. СОЛОВЕЙ, В.И. ЦИБУЛЬКО

**ПОВЫШЕНИЕ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВОК ТЭС И ТЭЦ
ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ,
РЕКОНСТРУКЦИИ
И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЖИМОВ
ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ю. М. МАЦЕВИТЫЙ, Н. Г. ШУЛЬЖЕНКО,
В. Н. ГОЛОЩАПОВ, П. П. ГОНТАРОВСКИЙ,
В. Г. ДЕДОВ, А. О. КОСТИКОВ, А. В. ПАВЛЕНКО,
А. В. РУСАНОВ, В. В. СОЛОВЕЙ, В. И. ЦЫБУЛЬКО

**ПОВЫШЕНИЕ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ТУРБОУСТАНОВОК ТЭС И ТЭЦ ПУТЕМ
МОДЕРНИЗАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕЖИМОВ
ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ
АКАДЕМИКА НАН УКРАИНЫ Ю. М. МАЦЕВИТОГО

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2008

Повышение энергоэффективности работы турбоустановок ТЭС и ТЭЦ путем модернизации, реконструкции и совершенствовании режимов их эксплуатации / Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Шульженко, В. Н. Голощапов, и др. : Под общ. ред. ак. Ю. М. Мацевитого; НАН Украины, Институт проблем машиностроения. – Киев: Наук, думка, 2008. – 366 с.

В монографии дан анализ технического состояния и условий эксплуатации паротурбинных установок мощностью 200 и 300 МВт, находящихся в эксплуатации на ТЭС и ТЭЦ и являющихся базовыми агрегатами теплоэнергетики Украины. На основе результатов фундаментальных исследований в области термо- и газодинамики, теплофизики, прочности и надежности конструкций турбомашин сформированы концептуальные подходы и создана необходимая научно-техническая база для широкомасштабного внедрения инновационных технологий при модернизации и реконструкции действующего энергетического оборудования. Разработанная концепция включает весь комплекс исследований жизненного цикла энергоблоков с учетом предыстории и особенностей эксплуатации каждого конкретного агрегата с выходом на оценку его реального технического состояния на момент начала реконструкции. Практическая реализация предложенных мероприятий в условиях ограниченных финансовых возможностей обеспечивает достижение модернизируемому оборудованием технико-экономических показателей на уровне современных требований. Монография может быть полезна эксплуатационному персоналу ТЭС и ТЭЦ, специалистам проектно-конструкторских организаций энергетического профиля, научным сотрудникам, аспирантам и студентам энергетических специальностей.

Ил. 117. Табл. 41. Библиогр. : с. 351–361 (157 назв.)

Рецензенты: Э. Г. Братута, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплотехники Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
А. Л. Шубенко, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом оптимизации процессов и конструкций турбомашин Института проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины

*Утверждено к печати ученым советом Института
проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины
протокол № 3 от 19.03.08*

ISBN 978-966-00-0850-3

© Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Шульженко,
В. Н. Голощапов, П. П. Гонтаровский,
В. Г. Дедов, А. О. Костиков,
А. В. Павленко, А. В. Русанов,
В. В. Соловей, В. И. Цибулько

Содержание

Предисловие.....	3
Основные условные обозначения.....	9
Введение.....	11
Глава I Состояние тепловой энергетики Украины и основные задачи обеспечения устойчивого функционирования оборудования ТЭС и ТЭЦ.....	17
1.1. Характеристика паротурбинного оборудования и анализ его работы.....	17
1.2. Методологический подход к продлению ресурса турбин.....	25
Глава II Использование методологии решения обратных задач теории поля при диагностике технического состояния, исследовании режимов работы турбин, модернизации и реконструкции энергетического оборудования.....	32
2.1. Прямые и обратные задачи.....	32
2.2. Экстремальный подход к решению обратных задач.....	37
2.3. Метод автоматизированного подбора.....	40
2.4. Метод спектральных функций влияния.....	44
2.5. Метод оптимальной динамической фильтрации.....	47
Глава III Анализ режимов работы энергоблоков.....	50
3.1. Работа мощных энергоблоков в современных условиях.....	50
3.2. Характеристика энергоблоков мощностью 300 МВт Змиевской ТЭС.....	54
3.3. Маневренные характеристики энергоблоков мощностью 300 МВт Змиевской ТЭС.....	58
3.4. Характеристика работы энергоблоков мощностью 300 МВт Запорожской ТЭС.....	77
3.4.1. Особенности конструкции турбины К-300-240-2 ТА.....	77
3.4.2. Анализ режимов работы турбины К-300-240-2 ТА блока № 4 Запорожской ТЭС.....	77
3.4.3. Анализ качества эксплуатации блока № 4 Запорожской ТЭС с момента пуска до наработки паркового ресурса.....	86
3.4.4. Определение основных дефектов турбины К-300-240-2 ТА блока № 4.....	87
3.4.5. Испытание турбоагрегата.....	89
3.4.6. Исследование структуры металла элементов энергоблока № 4 Запорожской ТЭС методом репликаций.....	91
3.5. Анализ работы энергоблоков мощностью 200 МВт Змиевской ТЭС..	103
3.6. Анализ работы энергоблоков ТЭЦ.....	114
3.6.1. Эксплуатация энергоблока № 3 Харьковской ТЭЦ-5.....	114

3.6.2. Эксплуатация энергоблока № 4 Киевской ТЭЦ-5.....	124
Глава IV Тепловое и термонапряженное состояние роторов и корпусных элементов турбин и определение их остаточного ресурса.....	135
4.1. Общие положения.....	135
4.2. Термогазодинамический расчёт проточной части турбин К-300-240 ТА.....	135
4.3. Граничные условия на поверхностях ротора высокого давления.....	138
4.3.1. Методические разработки.....	138
4.3.2. Определение условий теплообмена в концевых и диафрагменных уплотнениях паровых турбин.....	140
4.3.3. Определение расхода пара через разгрузочные отверстия во вращающихся дисках турбинных установок.....	153
4.3.4. Влияние геометрических и кинематических характеристик на изменение коэффициента расхода при течении пара через вращающиеся отверстия.....	158
4.3.5. Методика расчета течения возле поверхностей элементов ступеней	162
4.3.6. Граничные условия на поверхностях ротора.....	164
4.4. Определение наиболее напряженных зон роторов и корпусов.....	168
4.5. Оценка трещиностойкости элементов энергетического оборудования.....	174
4.6. Оценка остаточного ресурса высокотемпературных роторов турбин К-300-240-2 ТА Запорожской ТЭС.....	177
4.7. Оценка остаточного ресурса высокотемпературных роторов турбин Т-250/300 УТМЗ Харьковской ТЭЦ-5 в условиях полупиковых нагрузок, связанных с графиками энергорынка.....	179
4.8. Оценка ресурса РСД турбины К-300-240 ТА Змиевской ТЭС при ускоренных пусковых режимах.....	185
4.9. Оценка остаточного ресурса высокотемпературных роторов турбины Т-250/300-240 УТМЗ Киевской ТЭЦ-5.....	186
Глава V Диагностика турбоагрегатов ТЭС и ТЭЦ.....	189
5.1. Методология диагностирования турбоагрегатов.....	189
5.2. Вибродиагностика технического состояния турбоагрегатов.....	190
5.2.1. Вибрационный анализ.....	190
5.2.2. Основные требования к средствам измерения параметров вибрации	194
5.2.3. Измерительные средства и устройства с вихретоковыми преобразователями перемещений.....	195

5.2.4. Применение устройств измерения вибраций турбоагрегатов в диагностических целях.....	199
5.2.5. Аппаратное и методологическое обеспечение стационарных компьютеризированных систем вибродиагностики.....	202
5.2.6. Технологии непрерывного анализа и диагностирования вибросостояния турбоагрегатов по вибропараметрам.....	208
5.2.7. Идентификация параметров математических моделей колебаний турбоагрегатов.....	217
5.2.8. Определение характерных признаков дефектов.....	220
5.3. Применение стационарных систем непрерывного анализа и диагностирования вибраций ТА на Запорожской и Змиевской ТЭС, Киевской ТЭЦ-5 и Харьковской ТЭЦ-5.....	226
5.4. Система поддержки принятия решений оператором энергоблока.....	238
5.4.1. Общие положения.....	238
5.4.2. Постановка задачи создания информационной системы мониторинга работы энергоблоков.....	239
5.4.3. Подходы к построению информационной системы мониторинга.....	241
5.4.4. Структура информационной системы мониторинга.....	243
5.5. Диагностирование теплового состояния турбин большой мощности.....	247
5.5.1. Выбор критериев диагностирования теплового состояния турбины.....	247
5.5.2. Методика диагностирования теплового состояния проточной части турбины.....	249
5.5.3. Алгоритм диагностирования состояния радиальных зазоров ..	254
Глава VI Модернизация и реконструкция турбин с продлением их ресурса и повышением энергоэффективности.....	262
6.1. Пути реализации.....	262
6.2. Малозатратная модернизация цилиндров высокого и среднего давления мощных турбоагрегатов (на примере турбин типа К-300-240 ТА).....	264
6.2.1. Подход к проведению малозатратной модернизации.....	264
6.2.2. Выбор профилей направляющих и рабочих лопаток.....	265
6.2.3. Выбор степени реактивности лопаточных аппаратов и закона закрутки лопаток.....	266
6.2.4. Выбор конструкции надбандажного уплотнения.....	270
6.2.5. Аэродинамическое усовершенствование проточной части ЦВД паровой турбины на основе расчетов трехмерного вязкого течения.....	272

6.2.6. Малозатратная модернизация цилиндров низкого давления...	283
6.2.7. Модернизация пятой ступени цилиндра низкого давления.....	285
6.3. Реконструкция энергоблока № 8 Змиевской ТЭС.....	290
6.4. Технические предложения по реконструкции энергоблока № 9 Змиевской ТЭС.....	296
Глава VII Обеспечение маневренности и надежности работы турбин ТЭС и ТЭЦ.....	299
7.1. Общие положения.....	299
7.2. Анализ работы турбин ТЭС и оценка их маневренности.....	302
7.3. Анализ работы турбин ТЭЦ и оценка их маневренности.....	309
7.4. Обеспечение надежности турбин ТЭС и ТЭЦ.....	313
Глава VIII Перспективы развития отечественной теплоэнергетики и энергомашиностроительного комплекса.....	318
8.1. Перспективы развития ТЭС и ТЭЦ в свете энергетической стратегии Украины на период до 2030 года.....	318
8.2. Энергомашиностроительный комплекс и необходимость его инновационного развития.....	324
8.3. Научно-техническое сопровождение энергомашиностроительного комплекса.....	329
8.4. Перспективы использования разработок Института проблем машиностроения НАН Украины для реконструкции действующего и создания нового энергетического оборудования.....	332
8.5. К созданию высокоманевренных пиковых паротурбинных установок.....	337
Заключение.....	348
Список литературы.....	351