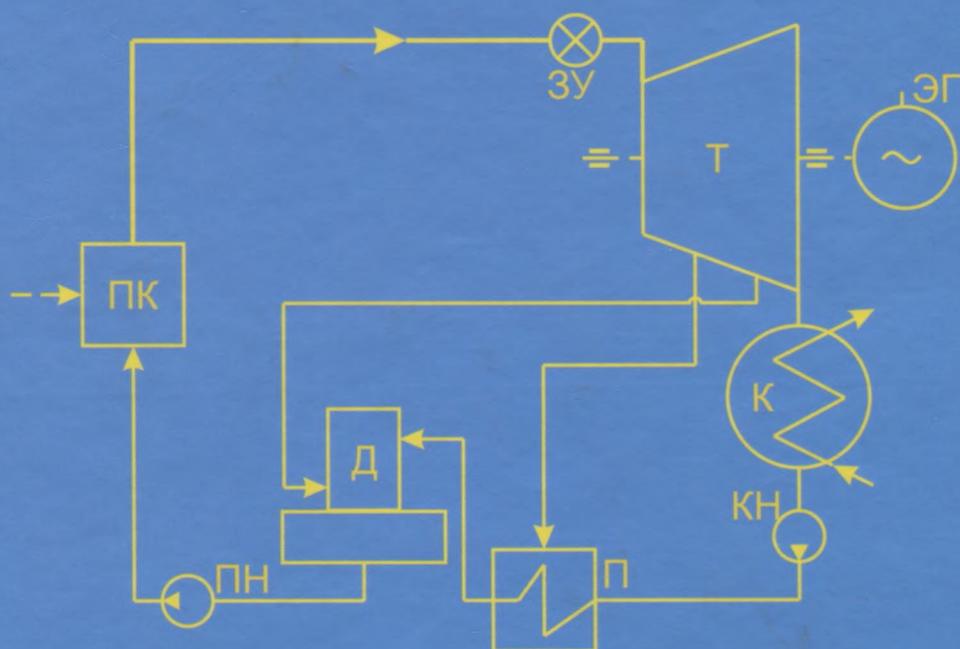


А.Л. Шубенко, В.А. Маляренко,  
А.В. Сенецкий, Н.Ю. Бабак

## Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности



**А. Л. Шубенко, В. А. Маляренко,  
А. В. Сенцкий, Н. Ю. Бабак**

**КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПАРОВЫХ ТУРБИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

**Харьков 2014**

Рецензенты:

**В. В. Соловей** - лауреат государственной премии Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом водородной энергетики Института проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины;

**Г. И. Каниук** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «теплоэнергетика и энергосбережение» Украинской инженерно-педагогической академии

*Утверждено к печати ученым советом Института проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины (протокол № 5 от 4 октября 2013 г.)*

Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых  
K57 турбин малой мощности / А. Л. Шубенко, В. А. Маляренко, А. В. Сенецкий,  
Н. Ю. Бабак. - Х. : Институт проблем машиностроения НАН Украины, 2014. - 320 с.  
ISBN 978-966-02-7059-6

Монография посвящена решению важной проблемы повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на основе внедрения энергосберегающих мероприятий. Выполнен анализ состояния и потенциала развития мировой и базовой энергетики Украины. Показано, что значительные резервы содержатся в «малой» энергетике, являющейся главным потребителем топливно-энергетических ресурсов. Рассмотрено такое направление энергосбережения как внедрение когенерационных технологий с использованием паровых турбин малой мощности на различных рабочих телах.

Проведен анализ имеющихся производителей и номенклатуры выпускаемых паровых турбин малой мощности. Представлены подходы к решению задач энергосбережения и оптимизации режимов мини-ТЭЦ. В качестве примеров даны варианты технико-экономических обоснований реализации энергосберегающих технологий при установке паровых турбин малой мощности.

Монография рассчитана на инженеров, занимающихся вопросами энергосбережения на промышленных предприятиях, научно-технических работников организаций энергетического профиля, аспирантов и студентов энергетических специальностей.

Ил. 57. Табл. 75. Библиогр: 245 назв

Монографія присвячена вирішенню важливої проблеми підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на основі впровадження енергозберігаючих заходів. Виконаний аналіз стану і потенціалу розвитку світової і базової енергетики України. Показано, що значні резерви містяться в "малій" енергетиці, що є головним споживачем паливно-енергетичних ресурсів. Розглянутий такий напрям енергозбереження як впровадження когенераційних технологій з використанням парових турбін малої потужності на різних робочих тілах.

Проведений аналіз наявних виробників і номенклатури парових турбін малої потужності, що випускаються. Представлені підходи до рішення завдань енергозбереження і оптимізації режимів міні-ТЕЦ. В якості прикладів наведені варіанти техніко-економічних обґрунтувань реалізації енергозберігаючих технологій при установці парових турбін малої потужності.

Монографія розрахована на інженерів, що займаються питаннями енергозбереження на промислових підприємствах, науково-технічних працівників організацій енергетичного профілю, аспірантів і студентів енергетичних спеціальностей

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	6
ГЛАВА 1. ЭНРЕГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ.....	9
1.1 Топливо-энергетический комплекс.....	9
1.2 Топливо-энергетические ресурсы и их использование.....	11
1.3 Энергопотребление, энергоемкость, энергоэффективность.....	30
1.4 Энергогенерирующие мощности базовой энергетики. «Энергостратегия 2012».....	38
1.5 Турбинные технологии - основа базовой энергетики 21 века.....	41
1.6 Тепловая энергетика Украины: состояние и прогнозы развития.....	47
1.7 Угольные тепловые источники энергии и экологическая безопасность.....	55
1.7.1 Анализ экологохимической опасности энергетических установок.....	56
1.7.2 Исследование содержания канцерогенных веществ в выбросах энергоблоков угольной ТЭС.....	59
1.8 Малая энергетика - невостребованный энергетический потенциал.....	64
ГЛАВА 2. КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ - ДЕЙСТВЕННЫЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	78
2.1 Теплофикация и когенерация. Основные понятия и определения.....	78
2.2 Когенерационные технологии и системы. Рабочие тела и энергетические установки.....	80
2.2.1 Преимущества когенерации.....	81
2.2.2 Низкокипящие рабочие тела в замкнутых циклах паротурбинных установок.....	86
2.3 Объекты (энергоисточники) внедрения когенерационных технологий.....	87

2.3.1 Паротурбинные установки малой мощности: проблемы создания и эксплуатации, потенциал интеграции в энергетику Украины.....	87
2.3.2 Особенности разрабатываемых турбоустановок.....	95
2.3.3 Основные проектные технико-экономические положения.....	97
ГЛАВА 3. ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ - БАЗА РЕАЛИЗАЦИИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ....	102
3.1 История создания паровых турбин.....	102
3.2 Классификация стационарных осевых паровых турбин малой мощности.....	105
3.3 Номенклатура и производители турбин на водяном паре.....	112
3.4 Турбина Юнгстрема.....	119
3.5 Особенности паровых винтовых машин.....	121
3.5.1 История создания и развитие производства ПВМ.....	121
3.5.2 Технические характеристики ПВМ.....	123
3.5.3 Область применения ПВМ.....	125
ГЛАВА 4. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ.....	128
4.1 Программный комплекс для исследования тепловых схем.....	128
4.2 Вопросы синтеза информационных моделей.....	130
4.3 Структура исходных данных и реализация операторов.....	134
4.4 Рациональное распределение тепловых и электрических нагрузок	136
ГЛАВА 5. ИНВЕСТИЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЪЕКТЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	144
5.1 Виды инвестиций и источники финансирования инвестиционной деятельности.....	144
5.2 Методические основы оценки эффективности инвестиций..	145
5.3 Методы оценки эффективности инвестиций с учетом дисконтирования.....	151
5.4 Коммерческая, бюджетная и экономическая эффективность инвестиционных проектов.....	163

5.5 Методы оценки эффективности инвестиций без учета дисконтирования.....	166
5.6 Методические основы расчета технико-экономических показателей энергокомплексов.....	170
5.6.1 Капитальные затраты в объекты энергоснабжения.....	170
5.6.2 Издержки производства и реализации продукции систем энергоснабжения.....	178
5.6.3 Распределение затрат на выработку электроэнергии и теплоты при совместном их производстве.....	183
<b>ГЛАВА 6. РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>191</b>
6.1 Выработка дополнительной электроэнергии ТЭЦ ОАО «Ясиновский коксохимический завод».....	191
6.1.1 Характеристика энергокомплекса.....	191
6.1.2 Техничко-экономическое обоснование расширения ТЭЦ.....	195
6.1.3 Реализация проекта расширения ТЭЦ.....	198
6.1.4 Расчет стоимости 1 кВт ч электроэнергии и срока окупаемости проекта.....	202
6.1.5 Общая постановка задачи исследования тепловой схемы ТЭЦ...	202
6.1.6 Результаты расчетных исследований.....	205
6.1.6.1 Влияние доли возврата конденсата на выработку электроэнергии.....	208
6.1.6.2 Перспективные режимы работы конденсационной турбины ПТ-12.....	208
6.1.6.3 Использование теплофикационного отбора турбины ПТ-12 для отпуска низкопотенциального пара.....	210
6.1.6.4 Выбор параметров исходной «гибкой» математической модели ТС для решения задачи оптимизации распределения нагрузок между турбинами.....	211
6.1.6.5 Решение задачи оптимизации с использованием планирования эксперимента.....	214
6.2 Реконструкция шахтной котельной в мини-ТЭЦ.....	218

6.2.1 Состав оборудования и основные особенности работы исследуемого энергоузла.....	218
6.2.2 Состав и особенности сжигания топлив.....	222
6.2.3 Вредные выбросы при сжигании топлива.....	225
6.2.4 Денежный сбор за вредные выбросы.....	226
6.2.5 Выбор технических решений для реконструкции котельной в мини-ТЭЦ.....	230
6.2.6 Тепловой расчет мини-ТЭЦ.....	231
6.2.7 Анализ предложений поставщиков паровых турбин. Оценка инвестиций на реализацию проектов.....	233
6.2.8 Расчет ТЭП выработки электроэнергии и теплоты на мини-ТЭЦ при установке паровой конденсационной турбины.....	234
6.3 Расширение Ахтырской ТЭЦ посредством установки паровой турбины с противодавлением Р-0,75-0,45.....	236
6.3.1 Особенности работы энергетического оборудования Ахтырской ТЭЦ.....	237
6.3.2 Выбор технического решения для улучшения ТЭП станции..	238
6.3.3 Результаты исследований.....	239
6.3.4 Выбор производителя малой паровой турбины.....	243
6.3.5 Простой срок окупаемости, этапы реализации проекта.....	244
6.3.6 Технические предложения по установке малого парового котла для Ахтырской ТЭЦ.....	248
6.3.7 Выбор параметров пара производимого котельным агрегатом.....	250
6.3.8 Выбор котлоагрегата.....	253
6.3.9 Установка конденсационного теплоутилизатора.....	253
6.3.10 Экономия от применения КТ.....	256
<b>ГЛАВА 7. РАСШИРЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБИН НА НИЗКОКИПЯЩИХ РАБОЧИХ ТЕЛАХ.....</b>	<b>260</b>
7.1 Выработка электроэнергии на низкопотенциальном источнике теплоты.....	260

7.2 Особенности применения турбоустановок на НРТ для утилизации низкопотенциальных ВЭР.....	263
7.2.1 Совмещение контура с НРТ с противодавленческими турбинами малой мощности.....	263
7.2.2 Применение контура с НРТ на отработавших нефтяных и газовых скважинах.....	264
7.2.3 Утилизация сбросной теплоты технологических процессов.....	265
7.3 Применяемые органические рабочие тела.....	266
7.4 Получение электроэнергии путем утилизации сбросной теплоты технологических процессов.....	270
7.5 ORC-контур с газопоршневыми двигателями.....	273
7.6 Эксплуатационные характеристики выпускаемых ORC турбин.....	274
7.7 Тепловой расчет турбины, работающей в ORC-цикле.....	277
7.8 Экономическая эффективность применения турбин с НРТ для утилизации ВЭР.....	280
7.8.1 Инвестиции на реализацию проекта установки турбины с НРТ ...	283
7.8.2 Цена ВЭР.....	283
7.8.3 Расчет простого срока окупаемости проекта установки турбины на НРТ.....	283
7.8.4 Оценка экономической эффективности использования ORC-контура для когенерации в водогрейной котельной.....	287
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	289