

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

С.И. НОВИКОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

ЧАСТЬ 1

АВТОМАТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
С АНАЛОГОВЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Учебник

НОВОСИБИРСК
2011

УДК 621.311.22-52+681.515](075.8)
Н 731

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *П.А. Щинников*;
канд. техн. наук *Д.А. Крутилин*

Работа подготовлена на кафедре ТЭС и утверждена
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебника

Новиков С.И.

Н 731 Оптимизация систем автоматизации теплоэнергетических процессов. Ч. 1. Автоматические системы регулирования теплоэнергетических процессов с аналоговыми регуляторами : учебник / С.И. Новиков. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 284 с.

ISBN 978-5-7782-1800-0

В настоящей работе предпринята попытка обобщить инженерные методы построения, настройки, оптимизации автоматических систем регулирования теплоэнергетических объектов, применяя упрощенные методы анализа и синтеза

УДК 621.311.22-52+681.515](075.8)

ISBN 978-5-7782-1800-0

© Новиков С.И., 2011
© Новосибирский государственный
технический университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
1. Концепции автоматизации теплоэнергетических процессов	7
2. Переходные процессы в автоматических системах регулирования	25
3. Экспериментальное определение статических и динамических характеристик теплоэнергетических объектов регулирования и их обработка.....	35
4. Технологические требования к качеству регулирования АСР.....	51
5. Реализация законов регулирования с учетом электрических сервомоторов	65
5.1. Реализация П-регулятора.....	65
5.2. Реализация ПИ-регулятора.....	68
5.3. Реализация ПИД-регулятора	71
6. Методы поиска оптимальных настроек АСР.....	75
6.1. Общие этапы наладки автоматических систем регулирования	75
6.2. Статическая настройка АСР.....	79
6.2.1. Ликвидация пульсаций сигналов	79
6.2.2. Обеспечение статической точности регулирования.....	83
6.2.3. Настройка статического соотношения сигналов	84
6.2.4. Настройка диапазона действия задатчика	86
6.3. Определение оптимальных параметров настроек одноконтурных систем регулирования	88
6.4. Расчет ОПН различными методами.....	93
6.4.1. Расчет по формулам ВТИ	93
6.4.2. Расчет по Коэну и Куну	95
6.4.3. ОПН по Чину, Хронсу и Ресвику	96
6.4.4. ОПН по формулам «Hartmann&Braun»	96
6.5. Расчет ОПН по номограммам Сибтехэнерго (СибТЭ).....	97
6.6. Экспериментальные методы определения ОПН регуляторов.....	98
6.6.1. Метод Циглера–Никольса.....	99
6.6.2. Шаговый метод определения ОПН ПИ-регуляторов	99
6.7. Рекомендации по применению законов регулирования для параметров теплоэнергетического оборудования (ТЭО).....	104
6.8. Примеры определения ОПН регуляторов	107
6.9. Определение ОПН регулирующих устройств АСР с малоинерционными объектами	108
6.10. Определение ОПН П-регуляторов.....	112
6.10.1. Процесс регулирования в АСР с ЖОС	113
6.10.2. Определение ОПН П-регулятора	115

6.10.3. Экспериментальный метод определения ОПН П-регулятора.....	117
6.11. Определение ОПН регулирующих устройств каскадных АСР.....	118
6.11.1. Понятие каскадных АСР.....	118
6.11.2. Последовательность определения ОПН каскадных АСР	124
6.11.3. Методика динамической настройки каскадных АСР по АФХ	139
7. Расчеты настроек АСР барабанных котлоагрегатов на аппаратуре РПИБ и «Контур-1».....	141
7.1. АСР разрежения в верху топки котлоагрегата	141
7.2. АСР питания барабанного котлоагрегата	156
7.3. АСР температуры острого пара	169
7.4. АСР топлива (тепловой нагрузки) котлоагрегата.....	183
7.5. АСР общего воздуха	197
7.6. Расчет настроек на аппаратуре «Контур-1».....	212
7.6.1. Реализация параметров статической настройки на блоке P25	212
7.6.2. Реализация параметров динамической настройки на блоке P25	214
8. Расчеты АСР прямоточных котлов на аппаратуре «Каскад» и АКЭСР....	217
8.1. АСР питания прямоточного котла на базе аппаратуры «Каскад»	217
8.2. АСР питания прямоточного котла на базе аппаратуры АКЭСР	227
8.3. АСР температуры пара на базе аппаратуры «Каскад».....	236
8.4. АСР температуры пара на базе аппаратуры АКЭСР.....	241
8.5. Регулятор общего воздуха на аппаратуре «Каскад»	246
8.6. Регулятор общего воздуха на аппаратуре АКЭСР	248
9. Расчеты АСР паротурбинных установок на аппаратуре «Каскад» и АКЭСР.....	251
9.1. Общие положения	251
9.2. Расчет параметров настройки регуляторов.....	252
9.3. Расчет параметров настройки регуляторов.....	267
9.4. АСР уровня конденсата в ПВД энергоблока на базе аппаратуры «Каскад»	268
9.5. АСР уровня конденсата в ПВД энергоблока на базе аппаратуры АКЭСР-2	270
Заключение	277
Библиографический список.....	279

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время трудно представить какой-либо технологический процесс без элементов автоматизации. Степень автоматизации достаточно широка – от незначительной до полной. В этом смысле теплоэнергетика – это комплекс объектов с большим объемом автоматизации. В конце XX века теплоэнергетические процессы были автоматизированы примерно на 70...80 %, а в начале XXI века объем автоматизации, включая пусковые и нештатные режимы работы тепловых установок, достиг 90...95 %. Известно, что каким бы совершенным ни был проектный объем автоматизации, длительная и эффективная работа ее зависит от персонала, осуществляющего ввод и эксплуатацию объекта управления. Персонал должен быть обучен и подготовлен к работе с вводимыми системами автоматизации.

Устройства и системы автоматизации с периодичностью в пять лет требовали реконструкции и замены их элементов по условиям физического и морального устаревания, а переход к новым системам требовал новых уровней подготовки персонала. Первоначальная ориентация производителей на рынок свободного труда потерпела полный крах, так как 95 % приглашенных специалистов не прижились в энергетике. Причина заключается в специфике специальности: необходимо достаточно глубоко знать технологические процессы и специфичную технику автоматизации. Поэтому в 1998 году на кафедре тепловых электрических станций НГТУ была создана специальность «Автоматизация теплоэнергетических процессов». Она оказалась востребованной, и 70 % выпускников по этой специальности (за последние 5 лет) успешно трудятся в проектных, наладочных организациях и на электростанциях.

Создание технологического процесса превращения энергии органического топлива в электрическую энергию сопровождалось с самого начала стремлением человека сделать этот процесс эффективным и безопасным. Этим объясняется постепенное оснащение теплосилового оборудования элементами устройств автоматизации. Начало автоматизи-

ки, т. е. устройств, действующих без участия человека, было положено еще в XVIII веке работами Дж. Уатта и И.И. Ползунова по регулированию скорости вращения паровых машин. К этому времени относится и первая печатная работа по регулированию скорости паровой машины Дж. Уатта. Затем последовала работа Н. Минорского (N. Minorsky) по теории авторегулирования (1922). К этому времени относится первая наиболее полная работа по автоматизации теплосиловых установок Т. Штейна (Th. Stein) «Регулирование и самовыравнивание в паросиловых установках» (1936), дважды переведившаяся на русский язык и сохранившая актуальность до настоящего времени. С тех пор автоматизация шагнула далеко вперед. Работы отечественных авторов – Е.Г. Дудникова, Е.П. Стефани, В.Я. Ротаца, В.М. Добкина, Е.Г. Герасимова, П.Н. Мануйлова, В.А. Деянова, В.Д. Миронова, Н.И. Давыдова и зарубежных – П. Профоса, Р. Клефенца, R. Doležal позволили к середине XX века завершить создание системы автоматизации барабанных и прямоточных котлов и паровых конденсационных и теплофикационных турбин и их вспомогательного оборудования. Из последних работ стоит отметить книгу Ю.С. Тверского «Автоматизация котельных агрегатов с прямым вдуванием». Результаты других работ рассеяны по отечественным периодическим источникам и отраслевым изданиям, однако общего курса не существует.

Настоящая работа является результатом восьмилетнего чтения курсов по этой специальности в НГТУ и 45-летней работы в Институте повышения квалификации. Потребность в таком учебнике по подготовке специалистов по автоматизации подчеркивается информационным голодом в этой области: за последние 15...20 лет можно отметить два-три издания, заслуживающих внимания. Предполагается издание второй части учебника, в которую войдут вопросы управления регулирующей арматурой, расчеты ее основных характеристик, особенности расчета настроек цифровых регуляторов и практические примеры их расчетов. В третьей части будут рассмотрены современные технические решения оптимизации, АСР-предсказатели, ПИД-регуляторы и их расчеты.

В работе широко использован 40-летний опыт работы автора в Сибирском отделении ОРГРЭС «Сибтехэнерго», «КОТЭС» и «СибКОТЭС», в Королевстве Марокко и Республике Куба. Автор благодарит своих коллег за сделанные замечания и будет рад внести соответствующие поправки по предложениям, которые следует направлять на кафедру ТЭС НГТУ.