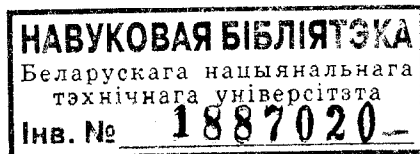




В.И. Назаров В.В. Кравченко

Автоматизированные системы регулирования тепловых процессов основного оборудования ТЭС и АЭС

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов
учреждений высшего образования
по специальностям
«Проектирование и эксплуатация
атомных электрических станций»,
«Тепловые электрические станции»,
«Автоматизация и управление
теплоэнергетическими процессами»,
«Промышленная теплоэнергетика»*



049 (3022)

Минск

«Вышэйшая школа»

2022

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	3
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
1. СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ БАРАБАННОГО КОТЛА	7
1.1. Система регулирования питания барабанного котла	7
1.1.1. Общие сведения о системе	7
1.1.2. Динамические характеристики объекта регулирования	7
1.1.3. Структурная схема регулирования питания	9
1.2. Система регулирования расхода топлива (нагрузки) барабанного котла	10
1.2.1. Общие сведения о системе	10
1.2.2. Динамические характеристики объекта регулирования	10
1.2.3. Структурная схема регулирования расхода топлива (нагрузки)	11
1.3. Система регулирования расхода общего воздуха барабанного котла	12
1.3.1. Общие сведения о системе	12
1.3.2. Динамические характеристики объекта регулирования	13
1.3.3. Структурная схема регулирования расхода общего воздуха	14
1.4. Система регулирования разрежения в топке барабанного котла	15
1.4.1. Общие сведения о системе	15
1.4.2. Динамические характеристики объекта регулирования	16
1.4.3. Структурная схема регулирования разрежения в топке	16
1.5. Система регулирования температуры перегретого пара барабанного котла	17
1.5.1. Общие сведения о системе	17
1.5.2. Динамические характеристики объекта регулирования	18
1.5.3. Структурная схема регулирования температуры перегретого пара	18
1.6. Система регулирования непрерывной продувки барабанного котла	19
1.6.1. Общие сведения о системе	19
1.6.2. Динамические характеристики объекта регулирования	19
1.6.3. Структурная схема регулирования непрерывной продувки	20
2. СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛА	22
2.1. Система регулирования питания прямоточного котла	22
2.1.1. Общие сведения о системе	22
2.1.2. Динамические характеристики объекта регулирования	22
2.1.3. Структурная схема регулирования питания	23
2.2. Система регулирования нагрузки прямоточного котла	24
2.2.1. Общие сведения о системе	24
2.2.2. Динамические характеристики объекта регулирования	24
2.2.3. Структурная схема регулирования нагрузки	25

2.3.	Система регулирования температуры перегретого пара прямоточного котла	27
2.3.1.	Общие сведения о системе	27
2.3.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	27
2.3.3.	Структурная схема регулирования температуры перегретого пара	28
2.4.	Система регулирования температуры промежуточного перегрева пара прямоточного котла	28
2.4.1.	Общие сведения о системе	28
2.4.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	29
2.4.3.	Структурная схема регулирования температуры промежуточного перегрева пара	30
3.	СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС	31
3.1.	Система регулирования редуционно-охладительной установки	31
3.1.1.	Общие сведения о системе	31
3.1.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	31
3.1.3.	Структурная схема регулирования редуционно-охладительной установки	32
3.2.	Система регулирования подогревателей сетевой воды	33
3.2.1.	Общие сведения о системе	33
3.2.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	33
3.2.3.	Структурная схема регулирования подогревателей сетевой воды	34
4.	СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЭС И АЭС	35
4.1.	Система регулирования мощности энергоблока ТЭС при первичном управлении турбиной	35
4.1.1.	Общие сведения о системе	35
4.1.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	36
4.1.3.	Структурная схема регулирования мощности энергоблока	36
4.2.	Система регулирования мощности энергоблока ТЭС при первичном управлении котлом	37
4.2.1.	Общие сведения о системе	37
4.2.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	38
4.2.3.	Структурная схема регулирования мощности энергоблока	38
4.3.	Система регулирования мощности водо-водяных реакторов АЭС	39
4.3.1.	Общие сведения о системе	39
4.3.2.	Динамические характеристики объекта регулирования	40
4.3.3.	Структурная схема регулирования мощности водо-водяного реактора	40
5.	ОПЫТ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ КТС SIEMENS	42
5.1.	Проектирование регулирования с SIMATIC S7	42
5.1.1.	Обзор продукции регулирования SIMATIC	42
5.1.2.	Выбор изделий регулирования	45
5.1.2.1.	Техника подключения	46
5.1.2.2.	Количественные параметры и динамика регулирования	48

5.1.2.3.	Критерий качества и точность регулирования	52
5.1.2.4.	Требования надежности	54
5.1.2.5.	Обслуживание и визуализация	55
5.1.2.6.	Комплексность и гибкость.	55
5.1.2.7.	Помощь при наладке: автонастройщик PID Self-Tuner	55
5.1.2.8.	Регулятор со встроенным настройщиком	57
5.1.3.	Преимущества программных регуляторов и функциональных модулей FM	60
5.2.	Исполнительные устройства и сенсоры регулирования	61
5.2.1.	Влияние исполнительных органов на регулирование	61
5.2.1.1.	Контакты, реле и полупроводниковые реле	67
5.2.1.2.	Вентили и задвижки	67
5.2.1.3.	Заслонки и дроссельные заслонки	70
5.2.1.4.	Магнитные вентили	70
5.2.1.5.	Насосы и моторы с изменяемым числом оборотов	70
5.2.1.6.	Исполнительные звенья дозирования	71
5.2.2.	Влияние измерительной техники на регулирование	72
5.2.2.1.	Измерительные сигналы непосредственно подключаемых термоэлементов	73
5.2.2.2.	Измерительные сигналы непосредственно подключенного резисторного термометра	76
5.2.2.3.	Стандартные сигналы (0...10 В, 4...20 мА или 0...20 мА)	78
5.2.2.4.	Принцип измерения при аналоговом считывании	79
5.2.2.5.	Разрешение, точность и воспроизводимость	82
5.2.3.	Подключение исполнительных устройств и сенсоров к программному логическому контроллеру	82
5.3.	Отображение регулирования	84
5.3.1.	Мнемонические схемы по DIN 28004	85
5.3.2.	Проектная документация по DIN 19227, часть 1	87
5.3.3.	Регулятор на панели проектирования	90
5.3.3.1.	Программное регулирование в текстовом представлении STL	90
5.3.3.2.	Модульное регулирование в представлении CFC	91
5.3.3.3.	Параметрирование компактного регулирования	92
5.3.4.	Программный регулятор на панели обслуживания	93
5.3.5.	Панель обслуживания аппаратного регулятора	95
5.3.5.1.	Обслуживание регулирующих FM	95
5.3.5.2.	Обслуживание регуляторов SIPART	96
5.4.	Режимы работы	96
5.4.1.	Обзор режимов работы	96
5.4.2.	Режимы работы ручной и автоматический	98
5.4.2.1.	Плавное переключение из ручного режима в автоматический	98
5.4.2.2.	Плавное переключение из автоматического режима в ручной	99
5.4.2.3.	Переключение режимов из ручного в автоматический со скачком	100
5.4.2.4.	Переключение режимов из автоматического в ручной со скачком	101
5.4.2.5.	Переключение из автоматического режима в режим безопасного управляющего воздействия	102
5.4.2.6.	Переключение из режима SPC или DDC в режим уставки безопасности	102
5.4.3.	Запуск регулятора (программного) после перезапуска процессора	102

5.4.3.1.	Запуск регулирующего контура со скачком	103
5.4.3.2.	Плавный запуск регулирующего контура	103
5.4.4.	Режимы работы после включения и выключения регулятора	105
5.4.4.1.	Управляемый запуск контура управления	105
5.4.4.2.	Управляемый запуск регулирующего контура	107
5.4.5.	Безопасные режимы работы	107
5.4.5.1.	SPC-резерв	107
5.4.5.2.	DDC-резерв	108
5.4.5.3.	Уставка безопасности	109
5.4.5.4.	Безопасное управляющее воздействие	109
5.5.	Функции процессного регулятора	109
5.5.1.	Элементарные функции в ветви уставки	110
5.5.1.1.	Внутреннее задание уставки	110
5.5.1.2.	Внешнее задание уставки	110
5.5.1.3.	Уставка плавного перехода	110
5.5.1.4.	Ограничение уставки	111
5.5.2.	Элементарные функции ветви действительного значения	111
5.5.2.1.	Фильтр	111
5.5.2.2.	Нормирование	112
5.5.2.3.	Линеаризация	112
5.5.2.4.	Контроль за действительным значением	113
5.5.3.	Элементарные функции определения регулирующей разности	113
5.5.3.1.	Порог реагирования	113
5.5.3.2.	Образование отношений в регуляторе отношений	114
5.5.4.	Элементарные функции алгоритма	114
5.5.4.1.	Standard PI- или PID-алгоритм с D-звеном в прямой ветви	115
5.5.4.2.	PI- или PID-алгоритм с D-звеном в цепи обратной связи	116
5.5.4.3.	PI-алгоритм с D-звеном в цепи возмущения	116
5.5.4.4.	P-алгоритмы	117
5.5.5.	Элементарные функции выдачи сигнала	119
5.5.5.1.	Ограничение регулирующего воздействия	119
5.5.5.2.	Элементарные функции образования бинарных сигналов	119
5.5.5.3.	Ограничение ручного управляющего воздействия	119
5.6.	Структуры регулирования	119
5.6.1.	Подключение возмущения	120
5.6.2.	Регулирование с предупредлением	122
5.6.3.	Регулирование отношения	123
5.6.4.	Каскадное регулирование	124
5.6.5.	Регулирование с раздельными границами	129
5.6.6.	Регулирование вспомогательных величин	130
5.6.7.	Избирательное регулирование	131
5.6.8.	Регулирование множества величин	134
5.6.8.1.	Отрицательная связь	134
5.6.8.2.	Положительная связь	135
5.6.8.3.	Регулирование с предсказанием на основе модели	138
5.7.	Вызов программного регулятора в PLC	143

5.7.1. Уровни временного прерывания и интервалы считывания	143
5.7.2. Вызов в SIMATIC TIA	144
5.7.2.1. Деление частей программы на циклические и с прерыванием	144
5.7.2.2. Распределение временных тактов и интервалов считывания функциональных звеньев	144
5.7.2.3. Распределение временных тактов с помощью модуля LP_SCHED	147
5.7.2.4. Построение модульного регулирования	147
5.7.3. Вызов в SIMATIC PCS7	149
5.8. Ввод в действие процессных регуляторов	151
5.8.1. Первые шаги	151
5.8.1.1. Инсталляция и проверка сигнальных связей	152
5.8.1.2. Направление действия процессного регулятора	152
5.8.1.3. Предварительная установка параметров регулирования	153
5.8.1.4. Линеаризация значений процесса	154
5.8.1.5. Установка импульсных формирователей	156
5.8.1.6. Установка каскадных регуляторов	158
5.8.2. Регистрация переходной характеристики процесса	159
5.8.2.1. Перечень проверок при подготовке	159
5.8.2.2. Первая запись	161
5.8.2.3. Участки (объекты) регулирования с чисто инерционной характеристикой	162
5.8.2.4. Температурные участки с активным нагреванием и пассивным охлаждением	164
5.8.2.5. Температурные участки с активным нагреванием и активным охлаждением	166
5.8.3. Настроечное регулирование — выбор, границы и оценка	167
5.8.3.1. Установка интервала считывания при программном регулировании	169
5.8.3.2. Установка по Чену — Хроунзу — Ресвику	170
5.8.3.3. Настроечное регулирование участков с запаздыванием по Циглеру — Николсу	171
5.8.3.4. Настроечное регулирование по скорости нарастания	172
5.8.3.5. Настроечное регулирование для последующей оптимизации	173
5.8.4. Ввод в действие с помощью автонастройщика PID Self-Tuner	175
5.8.5. PCS7-PID-Tuner	178
ПРИЛОЖЕНИЯ	181
<i>Приложение 1. ПТК КОНТАР</i>	181
<i>Приложение 2. ПТК ОВЕН</i>	183
<i>Приложение 3. ПТК OMRON</i>	186
<i>Приложение 4. Примеры реализации систем автоматического регулирования на аппаратуре различных производителей</i>	196
ЛИТЕРАТУРА	210