

# Содержание

---

<b>Предисловие</b>	<b>11</b>
<b>Перечень принятых сокращений и обозначений</b>	<b>18</b>
<b>Введение</b>	<b>20</b>
<b>Глава 1. Общие сведения</b>	<b>27</b>
1.1 Особенности управления ядерной паропроизводящей установкой.....	27
§ 1.1.1 Режимы управления ядерной паропроизводящей установкой.....	27
§ 1.1.2 Обеспечение безопасности.....	28
1.2 Система управления ядерной паропроизводящей установкой.....	33
1.3 Основные понятия.....	35
§ 1.3.1 Мощность ядерного реактора.....	35
§ 1.3.2 Скорость изменения мощности. Реактивность	35
§ 1.3.3 Мгновенные и запаздывающие нейтроны.....	36
§ 1.3.4 Тепловая мощность ядерного реактора.....	38
§ 1.3.5 Поглотители. Эффективность рабочих органов	39
§ 1.3.6 Температурный эффект.....	39
§ 1.3.7 Неравномерность плотности потока нейтронов	40
§ 1.3.8 Измерение мощности нейтронным детектором	41
§ 1.3.9 Режимы управления ядерным реактором.....	43
1.4 Роль мгновенных и запаздывающих нейтронов в управлении ядерным реактором.....	44
1.5 Время в системе автоматического регулирования.....	48
<b>Глава 2. Некоторые особенности регуляторов</b>	<b>49</b>
2.1 Необходимость повышения уровня автоматизации.....	49
2.2 Замкнутые и разомкнутые системы.....	53

2.3 Система автоматического регулирования .....	55
§ 2.3.1 Главная цель и задача .....	55
§ 2.3.2 Структура и функции .....	56
§ 2.3.3 Алгоритм системы автоматического регулирования .....	58
§ 2.3.4 Характеристики управляющего сигнала регулятором .....	59
§ 2.3.5 Характеристики регулятора .....	62
2.3.5.1 Релейный регулятор .....	63
2.3.5.2 Пропорциональный линейный регулятор .....	66
2.3.5.3 Пропорциональный нелинейный регулятор .....	66
2.3.5.4 Несимметричная характеристика регулятора .....	70
2.4 Влияние релейной характеристики регулятора на колебания системы автоматического регулирования .....	73
2.5 Причины применения релейного регулятора .....	75
2.6 Совместная работа органов регулирования и компенсации .....	78
2.7 Ручное дистанционное управление, его отличие от автоматического регулирования .....	82
2.8 Автоматизированная система управления ядерным реактором и «Система управления и защиты» .....	86
2.9 Отличие системы аварийной защиты от системы автоматического регулирования .....	89
2.10 Уменьшение вероятности несанкционированного введения положительной реактивности .....	91
§ 2.10.1 Особенности управления шаговым двигателем .....	91
§ 2.10.2 Скорость перемещения органа регулирования. Момент на валу шагового двигателя .....	91
§ 2.10.3 Направление и скорость перемещения органа регулирования .....	93
§ 2.10.4 Управление сигналами разной частоты и полярности .....	96
2.11 Защита от несанкционированного увеличения скорости введения положительной реактивности .....	98
§ 2.11.1 Крутизна фронта и частота импульсов тока шагового двигателя .....	98
§ 2.11.2 Снижение перегрева обмоток шагового двигателя .....	101

§ 2.11.3	Раздельные каналы управления введением положительной и отрицательной реактивности .....	102
§ 2.11.4	Разработка и эксплуатация схемы управления регулятором .....	104
§ 2.11.5	Наладка схемы управления регулятором .....	109
§ 2.11.6	Привод рабочего органа с двумя двигателями .....	109
2.12	Качество автоматического регулирования .....	110
2.13	Выводы .....	114
<b>Глава 3.</b>	<b>Автоматический пуск ядерного реактора</b> .....	<b>117</b>
3.1	Задачи автоматического пуска .....	117
3.2	Повышение эффективности сигнала периода в управлении ядерным реактором .....	120
§ 3.2.1	Схема формирования сигнала периода .....	120
§ 3.2.2	Оптимальные параметры формирователя сигнала периода для автоматического пуска .....	121
§ 3.2.3	Параметры формирователя сигнала периода для аварийной защиты .....	123
3.2.3.1	Аварийная ситуация при пуске ядерного реактора .....	123
3.2.3.2	Требования к дифференцирующему усилителю формирователя аварийного сигнала по периоду .....	125
§ 3.2.4	Разные постоянные времени инерционного звена в каналах регулирования и аварийной защиты .....	127
3.2.4.1	Автоматический пуск ядерного реактора .....	127
3.2.4.2	Автоматический пуск из критического состояния ядерного реактора .....	127
3.2.4.3	Автоматический пуск из подкритического состояния ядерного реактора .....	132
3.2.4.4	Формирование аварийного сигнала по периоду .....	136
§ 3.2.5	Схемы формирования сигнала периода .....	137
§ 3.2.6	Формирование аварийного сигнала по периоду в зависимости от введённой реактивности .....	138
3.3	Методика выбора параметров канала аварийной защиты .....	141
§ 3.3.1	Требования к выбору параметров канала аварийной защиты по периоду .....	141

§ 3.3.2	Сигнал периода с форсирующей цепью в канале автоматического регулятора .....	142
§ 3.3.3	Кривые разгона ядерного реактора из критического состояния .....	143
§ 3.3.4	Формирование аварийного сигнала по периоду при разгоне реактора из подкритического состояния .....	145
3.3.4.1	Влияние предыстории на сигнал периода	145
3.3.4.2	Влияние времени жизни мгновенных нейтронов на сигнал периода .....	149
§ 3.3.5	Формирование сигнала периода с ускоряющей цепью .....	149
3.4	Граничные условия некоторых параметров канала управления автоматическим пуском .....	150
§ 3.4.1	Оптимальные параметры канала управления автоматическим пуском .....	150
§ 3.4.2	Влияние на качество регулирования характеристики регулятора и соотношения сигналов управления по мощности и периоду.....	153
3.5	Быстродействие аварийной защиты по периоду .....	155
§ 3.5.1	Критерии быстродействия аварийной защиты	155
§ 3.5.2	Методика проверки быстродействия участков канала аварийной защиты .....	160
3.5.2.1	Проверка на стенде.....	160
3.5.2.2	Проверка на объектах.....	164
§ 3.5.3	Быстродействие второго участка канала аварийной защиты .....	165
3.5.3.1	Время прохождения сигнала АЗ .....	165
3.5.3.2	Включение питания на электромагнит	166
3.5.3.3	Быстродействие.....	166
3.5.3.4	Минимальное время отпускания электромагнита .....	168
3.5.3.5	Запоминание сигнала аварийной защиты	170
3.5.3.6	Периодическая проверка.....	171
3.6	Аварийная защита по периоду и производной мощности	175
3.7	Каналы измерения плотности потока нейтронов.....	178
§ 3.7.1	Основные параметры импульсного и токового канала .....	178

§ 3.7.2	Аппаратура измерения плотности потока нейтронов.....	180
3.7.2.1	Импульсная аппаратура. Погрешность контроля загрузки ядерного реактора ...	180
3.7.2.2	Токовая аппаратура .....	183
§ 3.7.3	Компенсация токового ложного выходного сигнала .....	185
3.7.3.1	Два вида компенсации токового ложного выходного сигнала.....	185
3.7.3.2	Электрическая компенсация токового ложного выходного сигнала .....	188
3.7.3.3	Компенсация токового ложного выходного сигнала по сигналу импульсной аппаратуры .....	190
§ 3.7.4	Схемы измерения плотности потока нейтронов	194
3.7.4.1	Влияние параметров детектора на параметры канала измерения .....	194
3.7.4.2	Импульсно-токовый канал с одной камерой деления .....	195
3.7.4.3	Переход с импульсного канала контроля периода в токовый канал контроля.....	196
3.7.4.4	Импульсно-токовый канал с импульсным и токовым детекторами .....	199
3.7.4.5	Максимальные возможности импульсного и токового измерительного канала....	202
3.7.4.6	Пусковой канал с двумя импульсными детекторами .....	206
3.7.4.7	Флуктуационный диапазон работы пускового канала .....	209
§ 3.7.5	Влияние токового ложного выходного сигнала на диапазон контроля мощности .....	211
3.7.5.1	Влияние токового ложного выходного сигнала на диапазон контроля мощности и периода .....	211
3.7.5.2	Влияние плотности потока нейтронов в месте размещения детектора.....	213
3.7.5.3	Влияние мощности дозы гамма-излучения .....	215

3.8	Условия обеспечения безопасности контролируемого пуска ядерного реактора с источником нейтронов .....	218
§ 3.8.1	Пуск ядерного реактора .....	218
§ 3.8.2	Построение кривой $1/N$ .....	220
§ 3.8.3	Нейтронный источник .....	224
§ 3.8.4	Условия формирования аварийного сигнала по периоду .....	229
3.8.4.1	Обеспечение безопасности при пуске ядерного реактора .....	229
3.8.4.2	Загрузка активной зоны .....	229
3.8.4.3	Физический пуск .....	231
3.8.4.4	Автоматический пуск .....	231
§ 3.8.5	Изотопный источник нейтронов .....	233
§ 3.8.6	Контроль состояния активной зоны по методу «асимметричного источника» .....	235
§ 3.8.7	Контроль ядерного реактора при пуске с импульсным источником нейтронов .....	238
§ 3.8.8	Влияние характеристики регулятора на время пуска ядерного реактора из подкритического состояния .....	241
§ 3.8.9	Выводы к разделу 3.8 .....	242
3.9	Ошибки контроля параметров при пуске ядерного реактора .....	243
§ 3.9.1	Требования к каналам контроля параметров при пуске ядерного реактора .....	243
§ 3.9.2	Исследование параметров автоматического пуска .....	245
§ 3.9.3	Контроль параметров при пуске ядерного реактора АЭС .....	246
3.9.3.1	Импульсный канал контроля мощности .....	246
3.9.3.2	Погрешность формирования сигнала периода .....	253
3.9.3.3	Минимальная контролируемая величина параметра .....	258
3.9.3.4	Влияние преобразования импульсного и токового сигнала нейтронного детектора в частотный сигнал .....	260
3.9.3.5	Аппаратура контроля реактивности .....	262
§ 3.9.4	Замечания и рекомендации к разделу 3.9 .....	264
3.10	Выводы .....	267

<b>Глава 4. Автоматический разогрев</b>	<b>274</b>
4.1 Автоматический разогрев по программе изменения температуры и по производной температуры.....	274
4.2 Совместная работа статического и астатического регуляторов .....	280
4.3 Совместная работа нейтронного регулятора и корректора уставки мощности при разогреве .....	282
§ 4.3.1 Функции статического и астатического регуляторов .....	282
§ 4.3.2 Поддержание заданной скорости изменения температуры .....	284
§ 4.3.3 Остановка автоматического разогрева. Автоматическое расхолаживание .....	288
4.4 Коэффициент передачи или время интегратора в цепи корректора уставки мощности при разогреве .....	292
§ 4.4.1 Физический смысл коэффициента передачи интегратора в системе автоматического разогрева	292
§ 4.4.2 Методика определения времени интегратора....	293
4.5 Повышение качества регулирования при возмущениях в системе автоматического разогрева.....	294
4.6 Разогрев при естественной циркуляции теплоносителя	295
4.7 Автоматический разогрев ядерного реактора с кипящим теплоносителем .....	297
4.8 Автоматический разогрев ядерного реактора с кипящим теплоносителем и паровой компенсацией давления .....	302
4.9 Уменьшение времени разогрева оптимизацией изменения скорости роста температуры .....	303
4.10 Коррекция заданного уровня мощности разогрева по программе изменения температуры.....	305
4.11 Автоматический переход из пуска ядерного реактора в автоматический разогрев .....	306
§ 4.11.1 Переход в автоматический разогрев после пуска из критического состояния .....	306
§ 4.11.2 Пуск ядерного реактора из подкритического состояния с автоматическим переходом в разогрев и энергетический уровень мощности.....	308

---

4.12 Исследование системы автоматического разогрева по заданной мощности разогрева.....	311
§ 4.12.1 Влияние характеристики задания мощности на качество переходного процесса .....	311
§ 4.12.2 Качество регулирования систем по заданной мощности разогрева и по программе изменения температуры .....	314
§ 4.12.3 Исследование устойчивости разогрева по заданной мощности разогрева.....	317
§ 4.12.4 Выводы по 4.12 .....	319
4.13 Разогрев сложной установки.....	320
4.14 Коррекция сигнала мощности нейтронного детектора по тепловой мощности при разогреве .....	321
4.15 Выводы .....	323
<b>Литература</b>	<b>325</b>