

# Содержание

---

Предисловие ко второму изданию	10
Предисловие к первому изданию	11
Перечень принятых сокращений и обозначений	12
Введение	13
<b>Глава 1. Общие сведения</b>	<b>17</b>
1.1 Особенности управления ядерным реактором энергетической установки .....	17
1.2 Система автоматического управления ядерного реактора энергетической установки.....	19
1.3 Основные понятия и определения.....	22
1.4 Время в системе автоматического управления .....	29
1.5 Приоритеты в системе управления.....	30
<b>Глава 2. Некоторые особенности управления регуляторами</b>	<b>35</b>
2.1 Необходимость повышения уровня автоматизации управления .....	35
2.2 Характеристики регуляторов .....	39
2.2.1 Причины применения релейного регулятора в управлении ядерным реактором.....	39
2.2.2 Качество автоматического регулирования .....	42
2.2.3 Релейный регулятор .....	44
2.2.4 Пропорциональный линейный регулятор.....	45
2.2.5 Пропорциональный нелинейный регулятор .....	46
2.2.6 О несимметричности характеристики регулятора ....	49
2.3 Уменьшение вероятности несанкционированного введения положительной реактивности .....	53
2.3.1 Особенности управления шаговым электродвигателем .....	53
2.3.2 Схема управления шаговым двигателем регулятора с несимметричной характеристикой .....	57

2.3.3	Уменьшение вероятности несанкционированного введения положительной реактивности при отказах по общим причинам .....	60
2.3.4	Привод рабочего органа с двумя двигателями .....	66
2.3.5	Совместная работа органов регулирования и компенсации .....	67
2.4	Выводы .....	72
<b>Глава 3. Автоматический пуск ядерного реактора</b>		<b>74</b>
3.1	Введение .....	74
3.2	Повышение эффективности сигнала периода в цепях управления ядерным реактором .....	77
3.2.1	Структурная схема формирования сигнала периода	77
3.2.2	Оптимальные параметры формирователя сигнала периода для канала автоматического пуска .....	77
3.2.3	Параметры формирователя сигнала периода для аварийной защиты .....	80
3.2.4	Формирование сигналов периода с различными постоянными времени инерционного звена в каналах автоматического пуска и аварийной защиты .....	83
3.2.5	Возможные варианты структурных схем формирования сигнала периода .....	94
3.2.6	Формирование предупредительного и аварийного сигналов в зависимости от реактивности и скорости ее изменения .....	96
3.3	Методика выбора параметров канала аварийной защиты по периоду .....	98
3.3.1	Требования к выбору параметров канала аварийной защиты по периоду .....	98
3.3.2	Сигнал периода с форсирующей цепью в цепи автоматического регулятора .....	99
3.3.3	Разгон реактора из критического состояния .....	101
3.3.4	Эффективность формирования аварийного сигнала по периоду при разгоне реактора из подкритического состояния .....	102
3.3.5	Формирование сигнала периода с ускоряющей цепью .....	108
3.4	Граничные значения некоторых параметров канала управления автоматическим пуском .....	109
3.4.1	Оптимальные параметры канала управления автоматическим пуском .....	109

3.4.2	Влияние на качество переходного процесса характера зависимости скорости регулирующего органа от значения сигнала управления .....	111
3.4.3	Влияние соотношения сигналов управления по мощности и периоду на качество переходного процесса .....	113
3.5	Характеристика быстродействия аварийной защиты по периоду с учетом кратности изменения мощности .....	115
3.6	Критерии быстродействия аварийной защиты по периоду .....	126
3.6.1	Определение критериев быстродействия аварийной защиты по периоду .....	126
3.6.2	Методика проверки быстродействия формирования аварийного сигнала по периоду .....	131
3.6.3	Быстродействие второго участка канала аварийной защиты .....	136
3.7	Аварийная защита по сигналам периода и производной мощности .....	145
3.8	Каналы измерения плотности нейтронного потока .....	150
3.8.1	Основные параметры импульсного и токового каналов .....	150
3.8.2	Аппаратура измерения .....	151
3.8.3	Структурные схемы измерения плотности потока нейтронов .....	158
3.8.4	Флуктуационный диапазон работы пускового канала .....	181
3.8.5	Влияние токового ложного выходного сигнала на диапазон контроля мощности и мощность пускового источника нейтронов .....	183
3.9	Условия обеспечения контролируемого пуска с применением источника нейтронов .....	191
3.9.1	Соотношения между характеристиками реактора, канала контроля мощности и нейтронного источника, обеспечивающие безопасность при пуске реактора .....	191
3.9.2	Изотопный источник нейтронов .....	208
3.9.3	Контроль состояния реактора по методу «асимметричного источника» .....	211
3.9.4	Оценка возможности контроля ядерного реактора перед пуском из подкритического состояния при использовании импульсного источника нейтронов .....	214
3.9.5	Влияние характеристики регулятора на время автоматического пуска реактора из подкритического состояния .....	217

3.10	Вычислитель реактивности при автоматическом пуске ядерного реактора .....	219
3.11	Выводы .....	221
<b>Глава 4. Автоматический разогрев энергетического реактора</b>		<b>225</b>
4.1	Управление автоматическим разогревом по программе изменения температуры и по производной температуры.....	225
4.2	Совместная работа статического и астатического регуляторов .....	232
4.3	Совместная работа нейтронного регулятора и корректора уставки мощности при разогреве .....	233
4.3.1	Определение функций статического и астатического регуляторов .....	233
4.3.2	Поддержание заданной скорости изменения температуры .....	236
4.3.3	Остановка автоматического разогрева. Автоматическое расхолаживание .....	240
4.4	Коэффициент передачи или время интегратора в цепи корректора уставки мощности при разогреве.....	243
4.4.1	Физический смысл коэффициента передачи интегратора в системе автоматического разогрева ...	243
4.4.2	Методика определения коэффициента передачи или времени интегратора .....	245
4.5	Повышение качества регулирования при возмущениях в системе автоматического разогрева .....	246
4.6	Разогрев при естественной циркуляции теплоносителя .....	247
4.7	Автоматический разогрев ядерного реактора с кипящим теплоносителем .....	250
4.8	Автоматический разогрев ядерного реактора с кипящим теплоносителем и паровой компенсацией давления .....	255
4.9	Коррекция заданного уровня мощности по программе изменения температуры .....	255
4.10	Уменьшение времени разогрева путем оптимизации изменения скорости изменения температуры при разогреве	256
4.11	Переход из автоматического пуска в автоматический разогрев.....	259
4.11.1	Переход в автоматический разогрев после пуска ядерного реактора из критического состояния .....	259
4.11.2	Автоматический пуск ядерного реактора из подкритического состояния с плавным переходом в автоматический разогрев и поддержание мощности на энергетических уровнях .....	262
4.12	Выводы .....	264

**Глава 5. Управление на энергетических уровнях мощности 266**

5.1	Астатический и статический регуляторы энергетической мощности .....	267
5.1.1	Астатический регулятор в качестве точного и статический регулятор в качестве грубого регуляторов .....	267
5.1.2	Повышение точности в установившемся режиме регулирования .....	268
5.2	Управление в установившемся и переходных режимах .....	273
5.2.1	Саморегулирование .....	273
5.2.2	Быстрые маневры мощности .....	277
5.3	Режим естественной циркуляции .....	278
5.4	Управление нейтронным полем больших активных зон .....	279
5.4.1	Органы изменения реактивности в управлении мощностью, распределением энерговыделения и подавлением ксеноновых колебаний .....	280
5.4.2	Проектирование автоматических систем регулирования нейтронным полем .....	282
5.4.3	Управление мощностью и распределением энерговыделения реакторов типа ВВЭР-1000 .....	282
5.4.4	Системы регулирования мощности и распределения энерговыделения с локальными автоматическими регуляторами .....	284
5.4.5	Системы автоматического регулирования мощности и управления распределением запасов по энергонапряженности .....	288
5.4.6	Системы автоматического регулирования мощности с использованием температурных датчиков в реакторах типа РБМК .....	298
5.5	Сигнал периода на энергетических уровнях мощности .....	299
5.5.1	Сигнал периода в качестве ограничения введения положительной реактивности .....	299
5.5.2	Сигнал периода в качестве сигнала регулирования .....	304
5.6	Зависимость работы системы управления реактором от изменения режима работы энергоблока .....	305
5.6.1	Некоторые принципы построения схемы управления энергетическим блоком .....	305
5.6.2	Регулирование давления пара с помощью коррекции заданного уровня мощности реакторной установки по отклонению давления пара от уставки .....	325
5.6.3	Электростанция .....	329
5.6.4	Транспортная энергоустановка .....	332
5.6.5	Иерархия и приоритет в сложной системе управления .....	335
5.7	Выводы .....	336

<b>Глава 6. Управление ядерным реактором в аварийных режимах</b>	<b>339</b>
6.1 Аварийное снижение мощности.....	339
6.2 Аварийное управляемое экстренное снижение мощности.....	346
6.2.1 Управление по сигналу нейтронного детектора.....	346
6.2.2 Использование сигнала реактивности в управлении ядерным реактором.....	347
6.3 Вычислитель реактивности в канале управления ядерным реактором.....	356
6.4 Аварийная защита по превышению мощности.....	361
6.4.1 Погрешности различных способов формирования аварийного сигнала по превышению мощности.....	361
6.4.2 Дифференциально-интегральный способ формирования аварийного сигнала по превышению мощности.....	368
6.5 Выводы.....	372
<b>Глава 7. Контроль состояния активной зоны по сигналам штатных нейтронных датчиков</b>	<b>374</b>
7.1 Контроль состояния активной зоны остановленного ядерного реактора.....	374
7.2 Контроль состояния активной зоны при работе ядерного реактора в режиме поддержания мощности.....	378
7.3 Выводы.....	379
<b>Глава 8. Вероятность безотказной работы и вероятность отказа системы управления</b>	<b>380</b>
8.1 О корректности значения вероятности безотказной работы системы управления.....	381
8.2 Вероятность отказа системы управления.....	384
8.3 Выбор логической схемы системы без расчета вероятности отказа.....	393
8.4 Выводы.....	395
<b>Глава 9. Применение цифровой вычислительной техники</b>	<b>396</b>
9.1 Внедрение цифровой вычислительной техники за рубежом.....	396
9.2 Ожидаемые преимущества и сложности применения цифровой вычислительной техники по сравнению с аналоговой техникой.....	398
9.3 Структуры использования цифровой вычислительной техники.....	402
9.4 Устройства отображения и пульты.....	404
9.5 Некоторые принципы построения систем управления.....	405
9.6 Выводы.....	408

<b>Глава 10. Влияние человека на обеспечение безопасности и надежности системы управления ядерным реактором</b>	<b>409</b>
10.1 Об оценке влияния человека на систему управления .....	410
10.1.1 Человеческий фактор и его влияние на систему управления .....	410
10.1.2 Типы ошибок, допускаемых человеком по отношению к системе управления .....	411
10.2 Человек и автоматика. Разграничение функций и учет человеческого фактора .....	412
10.2.1 Функции, которые человек выполнит лучше автоматике .....	412
10.2.2 Основные функции, в выполнении которых автоматика имеет преимущества перед человеком ...	413
10.2.3 Учет человеческого фактора при выполнении функций управления совместно автоматикой и человеком .....	414
10.3 Мероприятия, уменьшающие вероятность появления ошибок и негативное влияние человека на работу системы управления .....	414
10.3.1 Организационные мероприятия .....	414
10.3.2 Технические мероприятия .....	415
10.3.3 Организационно-технические мероприятия .....	415
10.3.4 Тренажеры .....	415
10.4 Меры по снижению вероятности ошибок оператора .....	417
10.5 О перспективе взаимодействия человека и системы управления .....	419
10.6 Выводы .....	423
<b>Глава 11. Организация работ по созданию системы управления</b>	<b>425</b>
11.1 Организация-разработчик системы управления .....	425
11.2 Специалист-разработчик системы управления .....	439
<b>Литература</b>	<b>442</b>
<b>Дополнительная литература</b>	<b>447</b>