

Содержание

Предисловие	9
Перечень принятых сокращений и обозначений	16
Глава 5. Энергетические уровни мощности	18
5.1 Основные принципы управления ядерным реактором в составе ядерной паропроизводящей установки	18
5.2 Астатический и статический регулятор на энергетическом уровне мощности	19
§ 5.2.1 Астатический регулятор в качестве точного и статического регулятора в качестве грубого регулятора	19
§ 5.2.2 Точность в установившемся режиме регулирования....	20
§ 5.2.3 Зависимость погрешности контроля мощности от способа управления и коррекции сигнала ионизационной камеры	23
5.2.3.1 Коррекция по тепловой мощности.....	23
5.2.3.2 Коррекция по внутриреакторным детекторам ..	27
§ 5.2.4 Требования к интегралу коррекции сигнала детектора	28
5.3 Управление в установившихся и переходных режимах ядерной паропроизводительной установки	29
§ 5.3.1 Саморегулирование	29
§ 5.3.2 Быстрые маневры мощности	32
5.4 Режим естественной циркуляции	34
5.5 Управление нейтронным полем больших активных зон	35
§ 5.5.1 Общие сведения	35
§ 5.5.2 Проектирование автоматических систем регулирования нейтронным полем	36
§ 5.5.3 Управление мощностью и распределением энерговыделения реакторов типа ВВЭР-1000	38
§ 5.5.4 Системы регулирования мощности и распределения энерговыделения с локальными регуляторами.....	40
§ 5.5.5 Регулирование мощности и управление распределением энерговыделения одним регулятором	44
§ 5.5.6 Управление распределением запаса по энергонапряженности	51
§ 5.5.7 Обеспечение максимального выгорания топлива	53

§ 5.5.8	Системы автоматического регулирования мощности с датчиками температуры	54
§ 5.5.9	Автоматическое регулирование мощности и управление распределением энерговыделения с математической моделью реактора	55
§ 5.5.10	Повышение автоматизации регулирования реактора типа ВВЭР	57
5.5.10.1	Перекомпенсации реактивности раствором жидкой кислоты бора	57
5.5.10.2	Заменяемость органов регулирования и аварийной защиты	58
5.6	Зависимость работы системы управления ядерным реактором от изменения режима работы энергоблока	59
§ 5.6.1	Управление ядерным реактором с жидкометаллическим теплоносителем	59
§ 5.6.2	Принципы построения схемы регулирования параметров реактора с регулируемой циркуляцией теплоносителя	64
§ 5.6.3	Принципы построения схемы регулирования мощности ядерной энергоустановки	71
§ 5.6.4	Регулирование давления пара коррекцией заданного уровня мощности реакторной установки по отклонению давления пара от своей уставки	77
§ 5.6.5	Регулирование давления пара перед регулятором частоты турбогенератора	81
§ 5.6.6	Регулирование давления пара клапаном травления	83
§ 5.6.7	Регулирование давления пара клапаном травления и коррекцией заданного уровня мощности по давлению пара и положению клапана	83
§ 5.6.8	Регулирование давления пара насосом и клапаном питательной воды	86
5.6.8.1	Особенности регулирования давления пара насосом и клапаном питательной воды	86
5.6.8.2	Совместное регулирование давления пара и расхода питательной воды клапаном и насосом	88
5.6.8.3	Расширение диапазона регулирования расхода питательной воды	89
5.6.8.4	Повышение точности поддержания давления пара	92
5.6.8.5	Размещение первичных преобразователей давления пара	95
§ 5.6.9	Регулирование температуры пара	96
§ 5.6.10	Регулирование средней температуры и циркуляции теплоносителя	100

5.6.10.1	Алгоритм управления циркуляцией теплоносителя.....	100
5.6.10.2	Увеличение кратности плавного регулирования циркуляции теплоносителя.....	102
5.7	Автоколебания в системах автоматического регулирования....	102
§ 5.7.1	Простые системы автоматического регулирования.....	102
5.7.1.1	Колебания.....	102
5.7.1.2	Причины автоколебаний.....	104
§ 5.7.2	Колебания в сложных системах автоматического регулирования.....	105
§ 5.7.3	Регулирование расхода питательной воды.....	106
§ 5.7.4	Регулирование давления пара клапаном травления пара.....	109
5.7.4.1	Схемы управления клапаном травления.....	109
5.7.4.2	Регулирование давления пара ручным дистанционным управлением клапана травления.....	109
5.7.4.3	Автоматизация ручного дистанционного регулирования.....	111
5.7.4.4	Классическая система автоматического регулирования.....	114
5.8	Приоритеты в системе управления.....	115
§ 5.8.1	Приоритеты сигналов управления.....	115
§ 5.8.2	Принцип приоритетов построения и работы системы автоматического регулирования.....	116
5.9	Выводы.....	118
Глава 6.	Управления в аварийных режимах	123
6.1	Аварийное снижение мощности.....	123
§ 6.1.1	Аварийная защита.....	123
§ 6.1.2	Управляемое быстрое снижение мощности.....	124
§ 6.1.3	Предварительная защита.....	129
6.2	Аварийная защита по превышению мощности.....	130
§ 6.2.1	Погрешности разных способов формирования аварийного сигнала по превышению мощности.....	130
§ 6.2.2	Дифференциально-интегральный способ формирования аварийного сигнала по превышению мощности.....	134
§ 6.2.3	Особенности контроля плотности потока нейтронов для аварийной защиты.....	138
6.3	Программно-регулируемое быстрое снижение мощности.....	139
6.4	Сигнал реактивности в канале управления.....	140
§ 6.4.1	Требования к вычислителю реактивности в канале контроля и управления ядерным реактором.....	140
§ 6.4.2	Управление по сумме сигналов измеренной мощности и реактивности.....	144
§ 6.4.3	Коррекция сигнала управления регулятором по реактивности.....	148
§ 6.4.4	Регулируемая аварийная защита.....	154

6.5	Унифицированная схема системы автоматического регулирования ядерным реактором	157
6.6	Аттестация вычислителя реактивности	159
§ 6.6.1	Необходимость аттестация вычислителя реактивности	159
§ 6.6.2	Аттестация вычислителя реактивности по точности и быстродействию	164
§ 6.6.3	Аттестация математической модели ядерного реактора	167
6.6.3.1	Необходимость аттестация математической модели	167
6.6.3.2	Аттестация по положительной реактивности ...	169
6.6.3.3	Аттестация по отрицательной реактивности ...	172
§ 6.6.4	Сигналы периода ядерного реактора, псевдоустановившегося периода и реактивности	173
§ 6.6.5	Определение оптимальной постоянной времени инерционного звена. Индикатор реактивности	178
§ 6.6.6	Автоматический пуск по сигналу вычислителя реактивности	180
§ 6.6.7	Вычисление реактивности по сигналу импульсного канала контроля плотности потока нейтронов	182
§ 6.6.8	Требования к сигналу реактивности в каналах управления	185
§ 6.6.9	Преимущество и недостаток вычислителя периода в каналах управления	186
§ 6.6.10	Сигнал периода как ограничитель введения реактивности	188
6.7	Выводы	193
Глава 7. Контроль активной зоны по сигналам штатных ионизационных камер		196
7.1	Контроль активной зоны остановленного ядерного реактора...	196
7.2	Контроль состояния активной зоны при работе ядерного реактора в режиме поддержания мощности	200
7.3	Выводы	201
Глава 8. Вероятность безотказной работы и вероятность отказа		202
8.1	О корректности значения вероятности безотказной работы системы управления	202
8.2	Относительная вероятность отказа системы управления	206
§ 8.2.1	Вероятность отказа. Активный и пассивный отказ ...	206
§ 8.2.2	Учёт пассивных и активных отказов	214
§ 8.2.3	Вероятность отказа с учётом тяжести его последствий	215
8.3	Выбор структуры системы без расчёта вероятности отказа ...	216
8.4	Уменьшение вероятности отказа контроля параметров при сокращении количества первичных преобразователей	219
8.5	Выводы	221

Глава 9. Применение вычислительной техники	223
9.1 Аналоговая и цифровая вычислительная техника	223
9.2 Краткая характеристика вычислительных машин	225
9.3 Внедрение цифровой вычислительной техники за рубежом	227
9.4 Ожидаемые преимущества и сложности применения цифровой вычислительной техники по сравнению с аналоговой техникой	229
§ 9.4.1 Преимущества применения цифровой вычислительной техники	229
§ 9.4.2 Недостатки применения цифровой вычислительной техники	231
§ 9.4.3 Замена аналоговой техники цифровой	232
9.5 Структуры систем с цифровой вычислительной техникой	232
9.6 Устройства отображения и пульта	238
9.7 Выводы	239
Глава 10. Влияние человека на обеспечение безопасности и надёжности системы управления	241
10.1 Оценка влияния человека на систему управления ядерным реактором	241
§ 10.1.1 Человеческий фактор	241
§ 10.1.2 Типы ошибок, допускаемых человеком по отношению к системе управления	243
10.2 Человек и автоматика. Разграничение функций	245
§ 10.2.1 Функции, которые человек выполнит лучше автоматике	245
§ 10.2.2 Функции, которые автоматика выполнит лучше человека	246
§ 10.2.3 Учет человеческого фактора при выполнении функций управления совместно автоматикой и человеком	247
10.3 Мероприятия, уменьшающие ошибки и негативное влияние человека на работу системы управления	248
§ 10.3.1 Организационные мероприятия	248
§ 10.3.2 Технические мероприятия	249
§ 10.3.3 Организационно-технические мероприятия	249
§ 10.3.4 Тренажеры	249
10.4 Меры по снижению вероятности ошибок оператора	251
10.5 Перспективы взаимодействия человека и системы управления	253
10.6 Выводы	256
Глава 11. Организация работ по созданию системы управления	258
11.1 Совершенствование организации работ	258
§ 11.1.1 Существующая организация работ	258
§ 11.1.2 Причины, приведшие к существующей организации работ	264
§ 11.1.3 Необходимость классификации систем управления	272

11.2	Общая классификация систем управления	274
§ 11.2.1	Основы создания классификации систем управления. Искусственные и естественные системы	274
§ 11.2.2	Классификация систем и объектов управления.....	281
11.2.2.1	Классификация систем управления.....	281
11.2.2.2	Активный и пассивный объект управления	283
§ 11.2.3	Классификация управляющих систем	283
§ 11.2.4	Различия управляющих систем автономных и входящих в замкнутые и разомкнутые системы управления	286
§ 11.2.5	Отличия управляющей системы от системы автоматического регулирования	287
§ 11.2.6	Сложная управляющая система. Установка и устройства	289
§ 11.2.7	Комплексная автоматизированная система управления	290
11.3	Организация-разработчик системы управления	292
§ 11.3.1	Сложившаяся и необходимая организация работ.....	292
§ 11.3.2	Наука, разработка и производство	301
§ 11.3.3	Необходимость изменения организации работ	304
11.4	Разработка составных частей системы управления.....	307
§ 11.4.1	Системность разработок каналов контроля и управления	307
§ 11.4.2	Недостатки технической документации	310
§ 11.4.3	Нормативная документация	314
11.4.3.1	Недостатки ЕСКД	314
11.4.3.2	Ошибки в ГОСТах, их устранение	316
§ 11.4.4	Нормативная документация по безопасности	319
§ 11.4.5	Общие причины недостатков нормативной документации	324
11.5	Математическое моделирование	325
§ 11.5.1	Безопасность и математическое моделирование.....	325
§ 11.5.2	Задачи математического моделирования	330
§ 11.5.3	Задачи активного математического моделирования	333
§ 11.5.4	Технические меры	335
§ 11.5.5	Задачи первого этапа моделирования	336
§ 11.5.6	Последующие этапы моделирования	337
§ 11.5.7	Организационные мероприятия	338
11.6	Специалист-разработчик системы управления	339
11.7	Экспертная оценка.....	342
11.8	Принципы и правила создания систем управления	342
§ 11.8.1	Принципы	342
§ 11.8.2	Правила	346
11.9	Первоочередные и необходимые задачи.....	350
11.10	Выводы	351