

Предисловие

Книга является переработанным и дополненным изданием монографии «Системы управления ядерными реакторами» 2009 г., получившей название «Системы управления ядерными паропроизводящими установками» в соответствии с содержанием дополнений.

Данная книга — двухтомник, первый том которого содержит главы 1–4, а второй — главы 5–11. В каждом томе приведены списки сокращений и использованной литературы.

В нормативной документации (ГОСТ), некоторой технической литературе и технической документации используют термин «реакторная установка» (РУ), как однозначный термину «ядерная паропроизводящая установка» (ЯППУ). Однако, однозначность РУ и ЯППУ справедлива только для одноконтурных кипящих ядерных реакторов (ЯР), из которых пар, образующийся в них, поступает на вход турбины. Новые одноконтурные ЯР не изготавливаются, поскольку они более радиационно опасны, чем двухконтурные ЯППУ, что подтверждает пример Фукусимы. В двухконтурных ЯР область РУ по согласованию между разработчиками ЯР и ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) иногда заканчивается в парогенераторе (ПГ) между первым контуром теплоносителя ЯР и вторым контуром ЯППУ, в котором питательная вода (ПВ) преобразуется в пар. В этом случае система управления ПВ и паром ПГ не входит в состав РУ, а входит в ЯППУ. Физические процессы в первом и втором контуре взаимно связаны, рассматривать их и управлять ими отдельно невозможно.

ЯППУ является частью ЯЭУ, нагрузка которой служит и нагрузкой ЯППУ.

В книге представлены варианты систем автоматического регулирования (САР) только основных параметров ЯР и ЯППУ с учётом их взаимного влияния. Принципы создания и анализа регулирования параметров вспомогательных систем управления ЯР, ЯППУ и ЯЭУ такие же, как в основных системах управления.

Название книги более точно отображает тему создания и анализа систем управления с учётом состава и назначение ЯППУ, зависимости её режима работы от функционирования ЯЭУ.

Основной задачей книги служит рассмотрение технических и организационных вопросов, которые повышают уровень автоматизации, маневренности, качества регулирования, надёжности и ядерной безопасности в нормальных и аварийных режимах работы ЯППУ.

Темы гл. 2, 4, 5, 8–11 являются общими для изучения, создания и анализа всех простых и сложных САР, а потому применимы в других областях науки и техники, где есть подобные системы.

Наибольшее научно-техническое и практическое значение имеют следующие вопросы, рассмотренные в книге.

1) Влияние на качество автоматического регулирования не только характеристик формирования управляющего сигнала автоматического регулирования (коэффициента усиления, зоны нечувствительности и т. д.), но и характеристик регулятора, (гл. 2).

2) Причины низкого качества регулирования системы с релейной характеристикой регулятора, созданной автоматизацией ручного дистанционного управления (гл. 2), по сравнению с пропорциональной характеристикой регулятора и, в некоторых случаях, системами с ручным дистанционным управлением.

3) Подтверждение математическим моделированием (гл. 3) и на практике преимущество пропорциональной нелинейной характеристики регулятора (гл. 2).

4) Технические решения, позволяющие:

- (а) уменьшить количество отказов по «общим причинам»;
- (б) упростить схему, повысить маневренность ЯР и надёжность предотвращения несанкционированного введения положительной реактивности (гл. 2).

5) Принципиальная разница между фактическим периодом увеличения мощности ЯР и сигналом периода, сформированного для контроля, автоматического регулирования и аварийной защиты (АЗ) в каждый момент времени изменения реактивности (гл. 3).

6) Физический смысл необходимости введения в канал формирования сигнала периода инерционного звена, величина которого зависит от уставки автоматического регулирования и АЗ (гл. 3).

7) Методика определения величины постоянной времени инерционного звена в канале формирования сигнала периода по раз-

гонным характеристикам разомкнутой системы увеличения мощности, «разгона» ЯР, (гл. 3) «Разгон» — неуправляемое увеличение мощности ЯР (по международной терминологии).

8) Исследование влияния параметров канала формирования сигнала периода на качество регулирования и быстродействие АЗ. Предложена методика определения этих параметров для уставок автоматического пуска и АЗ по периоду (гл. 3).

9) Определение критерия безопасности при пуске ЯР по быстродействию АЗ по периоду в момент и после выхода ЯР в критическое состояние (гл. 3).

10) Быстродействие АЗ характеризуется введённой надкритичностью в момент срабатывания АЗ по периоду. Предложена методика аттестации импульсной и токовой аппаратуры, а также канала АЗ на соответствие этим критериям (гл. 3). Методика апробирована на лабораторной установке НИКИЭТ.

11) Обоснование методики определения при физическом пуске допустимых значений:

- **максимальной** величины ступени введения реактивности;
- **минимального** количества счёта импульсов измерительного канала;
- **минимальной** величины пускового источника нейтронов, обеспечивающей контроль **безопасного** вывода ЯР в критическое состояние при **минимальном** времени пуска, (гл. 3).

12) Возможность методики аттестации математической модели ЯР по изменяющейся реактивности, определённой по сигналу вычисленного периода увеличения мощности, (гл. 3).

13) Необходимость требования к погрешности контроля плотности потока нейтронов в месте размещения нейтронного детектора и отсутствие необходимости требования к погрешности контроля мощности при пуске ЯР, поскольку:

- (а) погрешность переменная и при пуске ЯР может в два раза превышать величину контролируемой мощности;
- (б) величина погрешности контроля мощности не влияет на безопасность при пуске ЯР (гл. 3).

14) Отсутствие (на конкретных примерах) нормативной документации с требованием обязательной разработки и проверки с математической моделью ЯР системы управления ЯР, а также её каналов контроля и управления, которое приводит к неконтролируемым нарушениям требований правил ядерной безопасности

(ПБЯ), увеличению возможности аварийных ситуаций (гл. 3, раздел 3.9).

15) Методика использования совместной работы статического и астатического регуляторов, при которой качества одного компенсируют недостатки другого и не мешают работе друг друга. Это повышает одновременно точность регулирования в установившемся режиме и качество переходного процесса (гл. 4).

16) Обоснование математическим моделированием алгоритма автоматического разогрева по мощности разогрева. При этом происходит автоматическая коррекция масштаба сигнала ионизационной камеры (ИК) по тепловой мощности. Алгоритм повышает точность регулирования скорости и устойчивость процесса разогрева, точность формирования сигнала АЗ по превышению мощности в режиме разогрева, безопасность ЯР (гл. 4).

17) Физический смысл времени интегратора в канале САР на примере управления автоматическим разогревом (гл. 4).

18) Принципы иерархии и приоритетов в сложных и многоуровневых САР. Приведены примеры положительного и отрицательного влияния на качество работы САР соответственно при анализе учёта и отсутствия учёта принципа приоритета на примере САР реактора БН-600 (гл. 5).

19) Формулировка основных принципов построения САР энергоблоком (гл. 5).

20) Принцип автоматического регулирования интегральной мощности, который **одновременно** выравнивает распределение энерговыделения и подавляет ксеноновые колебания, что отсутствует в управлении реакторами типа ВВЭР и РБМК (гл. 5).

21) Возможность увеличения манёвренности мощности ЯЭУ коррекцией сигнала заданного расхода ПВ по сигналу давления пара в цепи управления одновременно насосом и клапаном ПВ (гл. 5).

22) Математическое моделирование использования сигнала реактивности в управлении, которое показало возможность увеличения скорости и глубины маневра мощности ЯР в аварийных ситуациях, а также уменьшение времени вывода его на энергетический уровень мощности после срабатывания АЗ (гл. 6).

23) Вариант методики аттестации математической модели ЯР и вычислителя реактивности по аттестованной математической модели ЯР (гл. 6).

24) Применение вычислителя сигнала периода в качестве контроля положительной реактивности и корректирующего сигнала в цепях управления. Его преимущество перед вычислителем реактивности (ВР) при управлении в надкритическом состоянии ЯР (гл. 6).

25) Возможность без вычисления реактивности определять состояние подкритичности, критичности и надкритичности ЯР методом асимметричного расположения источника нейтронов и нейтронных детекторов при разной чувствительности каналов контроля плотности потока нейтронов (гл. 7).

26) Обоснование достоверности характеристики надёжности системы управления по отношению вероятности **отказа** рассматриваемой системы к вероятности отказа аналогичной системы, а не значение вероятности **безотказной** работы, как это осуществляется в настоящее время. Рассмотрен простой инженерный способ расчёта вероятности отказа (гл. 8).

27) Анализ цифровой вычислительной техники (ЦВТ) в системах управления зарубежных АЭС, который установил, что элементы ЦВТ применяют в каналах управления по распределённой структуре. Централизованную структуру на элементах ЦВТ, применяют в системах контроля, отображения и регистрации. Показано, что последствия отказа в централизованной структуре системы управления серьёзнее и тяжелее, чем при таком же отказе в распределённой структуре (гл. 9).

28) Анализ и учёт влияния человека на всех этапах создания системы управления, начиная от разработки технического задания (ТЗ) и заканчивая эксплуатацией (гл. 10).

29) Организация работ по созданию автоматизированных систем управления (АСУ), позволяющая исключить её несоответствие современному уровню науки и техники, которое мешает совершенствовать комплексные (сложные) АСУ (КАСУ) (гл. 11).

30) Формулировка и классификация законов управления и законов взаимодействия, действующих в искусственных системах управления (гл. 11).

31) Создание классификации искусственных систем управления по составу, структуре и функционированию. В классификации показана принципиальная разница по функциям, характеристикам и требованиям ТЗ между одинаковыми по общему составу управляющими системами (УС), которые являются как неотъемлемой

составляющей частью замкнутых систем управления (САУ) и разомкнутых систем управления, например системы АЗ (САЗ), а также автономными УС (гл. 11).

32) Проведение активного математического моделирования систем управления для создания более совершенных АСУ, в том числе АСУ ЯППУ и ЯЭУ (гл. 11), позволяющего:

- до разработки новой АСУ и КАСУ (ЯР, ЯППУ, ЯЭУ) создать верифицированную по результатам испытаний и эксплуатации математическую модель прототипа АСУ и КАСУ, тактико-технические характеристики которой близки к создаваемой АСУ и КАСУ;
- откорректировать математическую модель прототипа АСУ и КАСУ в соответствии с ТЗ на создание новой установки;
- провести математическое моделирование новой АСУ и КАСУ для обоснования требований ТЗ к ним и на её части;
- до монтажа на объекте проверить работу максимальной части АСУ и КАСУ с математической моделью остальной части АСУ и КАСУ.

33) Корректировка существующей нормативной документации, в которой допущены серьёзные научно-технические ошибки, и выпуск новых ГОСТов. Предложены формулировки для ГОСТов по системам управления и корректировке ГОСТ на СУЗ и «автоматизированные системы управления» (серия ГОСТ 34) на базе ЦВТ (гл. 11).

34) Необходимость создания учебной литературы для теоретического и практического обучения специалистов по АСУ и КАСУ.

35) Перечень обязательных знаний, необходимых специалистам для создания простых и сложных систем управления (гл. 11).

36) Принципы и правила создания сложных АСУ (гл. 11).

Имеется практический опыт расчетных и экспериментальных работ, обеспечивающих безопасный физический пуск и последующую эксплуатацию ЯР, который не отражен в технической литературе. Предложены решения, уменьшающие этот недостаток.

Главное внимание в книге уделено практической реализации рассмотренных технических решений.

Книга состоит из 2 томов. Том 1 содержит:

- гл. 1 «Общие сведения»;
- гл. 2 «Некоторые особенности регуляторов»;

- гл. 3 «Автоматический пуск ядерного реактора»;
- гл. 4 «Автоматический разогрев».

Том 2 состоит из гл. 5–11.

В сносках том не указывается, только номер главы. Первая цифра номера параграфа, пункта, рисунка и т. д. обозначает номер главы.

Изучение работы систем управления надо начинать с гл. 1, а их создания — с гл. 10 и 11, затем гл. 1 и т. д.

Автор считает приятным долгом выразить признательность коллегам по работе: к.т.н. С. А. Антонову, к.т.н. А. М. Ганжинову, к.т.н. Г. Г. Гребенюку, к.т.н. Е. А. Двойнишникову, к.т.н. О. Е. Жукову, А. П. Зотову, к.т.н. Е. П. Каплару, Р. А. Конюхову, В. В. Куштану, Н. А. Марчихиной, к.т.н. Б. А. Менделеву, к.т.н. В. Д. Павлову, В. В. Петрову, принявшим непосредственное участие в ряде совместных работ, результаты которых использованы при написании книги, а также Е. Г. Корзину, С. И. Крюкову, к.т.н. В. Г. Назаряну, д.т.н. Д. М. Парфановичу, д.т.н. В. В. Постникову, П. Е. Филимонову, к.т.н. В. В. Кондратьеву за ряд полезных советов.

Автор будет признателен всем читателям, приславшим замечания и предложения по адресу e-mail: yurkevitchgp@yandex.ru.