

Предисловие

Книга является переработанным и дополненным изданием монографии «Системы управления ядерными реакторами» 2009 г., получившей название «Системы управления 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 опасные, чем двухконтурные ЯППУ, что подтверждает пример Фукусимы. В двухконтурных ЯР область РУ в некоторых случаях заканчивается между первым контуром теплоносителя ЯР и вторым контуром ЯППУ, в котором протекает питательная вода (ПВ) парогенератора (ПГ). Тогда система управления питательной водой и паром не входит в РУ, но входит в ЯППУ. Физические процессы в первом и втором контурах настолько взаимно связаны, что рассматривать их и управлять ими отдельно невозможно. В настоящей книге рассматриваются варианты автоматического регулирования только основных параметров ЯР и ПГ с учётом их взаимного влияния.

ЯППУ является частью ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Название книги более точно отображает рассмотрение работы, создания и анализа систем управления с учётом состава и назначения ЯППУ, зависимость 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.

Вопросы, рассмотренные в гл. 2, 4, 5, 8–11, являются общими для изучения, создания и анализа простых и сложных систем автоматического регулирования, а потому применимы в других областях науки и техники, где применяются 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 (реакторе В5р) преимущества пропорциональной нелинейной характеристики регулятора (гл. 2).

4) Технические решения, позволяющие:

- (а) уменьшить количество отказов по «общим причинам»;
- (б) одновременно 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 введения в канал формирования сигнала периода инерционного звена, величина которого зависит от уставки автоматического регулирования и уставки аварийной защиты (АЗ). Преимущество сигнала псевдоустановившегося периода перед реактивностью в автоматическом регулировании и АЗ при пуске ЯР (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).

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

9) Необходимость критериев безопасности и быстродействия САЗ по введённой надкритичности. Предложена методика аттестации импульсной и токовой аппаратуры, а также канала АЗ на соответствие этим критериям (гл. 3). Методика апробирована на лабораторной установке НИКИЭТ.

Критерием безопасности при пуске ЯР служит быстродействие АЗ по периоду в момент и после выхода ЯР в критическое состояние (гл. 3).

10) Обоснование методики определения при физическом пуске допустимых значений:

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

11) Возможность методики аттестации математической модели ЯР по изменяющейся реактивности, определённой по **вычисленному установившемуся** периоду увеличения мощности (гл. 3).

12) Отсутствие необходимости предъявлять требования к погрешности контроля мощности при пуске ЯР, поскольку:

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

Можно предъявлять требование по погрешности контроля плотности потока нейтронов в месте размещения нейтронного детектора.

* «разгоном» в международной терминологии называют неуправляемое увеличение мощности ЯР.

13) Необходимость требования по безопасности при пуске ЯР быстрогодействия срабатывания АЗ по периоду, в первую очередь при выходе ЯР в критическое состояние (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).

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 управления (нейтронного детектора для ЯР) 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 систем автоматического регулирования (САР) на примере управления автоматическим разогревом (гл. 4).

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

19) Формулировка основных принципов построения системы управления ЯЭУ (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) Регулирование параметров ЯППУ в зависимости от режима работы ЯЭУ (гл. 5).

23) 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).

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

25) Возможность без вычисления реактивности определять состояния 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 атомных электростанций (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 серьезнее 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, позволяющая исключить её несоответствие современному уровню науки и техники, что мешает совершенствовать сложные автоматизированные системы управления (АСУ) (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 подробному составу между одинаковыми по общему составу управляющими системами, которые являются как неотъемлемой составляющей частью замкнутых систем управления (систем автоматического регулирования) и разомкнутых систем управления (например системы АЗ), а также автономными управляющими системами. А это определяет принципиально разные технические требования к таким управляющим системам (гл. 11).

32) Обоснование необходимости активного математического моделирования сложных систем управления, в том числе АСУ ЯППУ и ЯЭУ (гл. 11), позволяющего:

- до начала разработки новой АСУ (ЯР, ЯППУ, ЯЭУ и т.д.) создать верифицированную по результатам всех испытаний и эксплуатации математическую модель прототипа соответствующей АСУ, тактико-технические характеристики которой наиболее близки к характеристикам создаваемой АСУ;
- до монтажа на объекте проверить работу максимальной части АСУ с математической моделью остальной части АСУ.

Это поможет создавать более совершенные АСУ, провести их математическое моделирование для научно-технического обоснования тактико-технических требований ТЗ на разработку АСУ и её составляющих частей в объёме функционирования.

33) Обоснование необходимости выпуска новой и корректировки существующей нормативной документации, а также создания учебной литературы и обучения специалистов по простым и сложным системам автоматического управления.

Предложены конкретные формулировки для новых ГОСТов по системам управления и корректировке ГОСТ на систему управления и защиты (СУЗ) и «автоматизированные системы управления» (серия ГОСТ 34) на базе ЦВТ (гл. 11).

34) Определение перечня обязательных основных знаний, необходимых специалистам для создания простых и сложных систем управления (гл. 11).

35) Формулировка принципов построения и правила создания сложных систем управления (гл. 11).

Имеется практический опыт расчетных и экспериментальных работ, обеспечивающих безопасный физический пуск и последу-

ющую эксплуатацию ЯР, который не отражен в технической литературе. Предложены решения, уменьшающие этот недостаток.

Главное внимание в книге уделено практической реализации технических решений.

Книга состоит из 2 томов. Том 1 содержит гл. 1–4, а том 2:

- гл. 5 «Энергетические уровни мощности»;
- гл. 6 «Управление в аварийных режимах»;
- гл. 7 «Контроль состояния активной зоны по сигналам штатных ионизационных камер»;
- гл. 8 «Вероятность безотказной работы и вероятность отказа системы управления»;
- гл. 9 «Применение вычислительной техники»;
- гл. 10 «Влияние человека на безопасность и надежность системы управления ядерным реактором»;
- гл. 11 «Организация работ по созданию системы управления».

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.