

Введение

Представим, что на всех автомобилях установлены радары, по сигналу которых автоматически:

- дистанция между ними, а также между автомобилем и препятствием, возникшим перед автомобилем, например, пешеходом, никогда не превышает заданной величины, в том числе остановкой автомобиля. Система автоматики допускает вмешательство водителя только в направлении повышения безопасности;
- скорость поддерживается оптимальной для работы водителя и безопасной на всех участках дороги;
- запуск автомобиля и разгон происходят максимально быстро при минимальном расходе горючего;
- система безопасности обеспечивает сохранение здоровья водителя и пассажиров, а также минимальный ущерб автомобилю в случае любой непредусмотренной аварии.

Уровня знаний и возможностей реализации подобного не существует? В книге показано, что уровень знаний и возможности осуществления подобного в системе управления ядерными реакторами есть. Необходимо желание реализовать эти возможности.

Повысить эффективность управления ЯЭУ, например АЭС, возможно каким-либо одним способом. Это можно осуществить только комплексом мер по совершенствованию всех составляющих системы управления ЯР, ЯППУ и ЯЭУ, включая нормативную документацию и организацию работ по её созданию.

Недостатки в системах управления чаще проявляются и заставляют искать новые технические решения в наиболее слабо изученных местах, как правило, на стыках различных областей науки и техники.

С начала создания ЯР проделан путь от ручного управления до автоматизации процессов управления ЯЭУ. Возможности совершенствования систем автоматического управления ЯР, ЯППУ и ЯЭУ не исчерпаны до сих пор. Вот некоторые из них.

За последние десятилетия не изменяется набор характеристик регуляторов: релейные, дискретные, пропорциональные линейные, пропорциональные интегральные. Практически не используется нелинейная пропорциональная характеристика регулятора.

В разработках систем управления ЯР отсутствуют обоснования требований к техническим параметрам аппаратуры формирования сигнала периода для улучшения качества регулирования при автоматическом пуске и достижения максимального быстрого действия при АЗ. В нормативной документации не определены, не обоснованы и не изложены критерии, которым должны удовлетворять такие требования с позиции физических процессов в реакторе при автоматическом регулировании и возникновении аварийной ситуации, уменьшении периода при аварийном увеличении мощности.

Существующие системы автоматического разогрева ЯР по программе изменения температуры были реализованы в системах управления ЯППУ в начале 1960-х гг. В ЯР с принудительной циркуляцией (ПЦ) теплоносителя они хорошо работают при отсутствии возмущений. При наличии возмущений возникают длительно незатухающие колебания, во время которых параметры САР выходят за допустимые пределы. При естественной циркуляции (ЕЦ) теплоносителя первого контура процесс ухудшается. Несколько лучше система автоматического разогрева по «производной температуры». Но и она при возмущениях в контуре системы автоматического разогрева, особенно при ЕЦ теплоносителя, бывает неустойчивой.

В системах автоматического управления значительное место занимают различные реле времени, задачей которых является реализация важных функций по обеспечению качества регулирования и ядерной безопасности. Более адекватно отражают изменение физических свойств ядерной энергетической установки ее физические параметры, которыми с необходимым алгоритмом управления надо заменять реле времени.

Не определено место и значение сигнала реактивности в системе автоматического управления ЯР. Отмечается необходимость использования вычислителя реактивности при пуске ЯР, но отсутствуют доказательства его преимущества перед сигналом периода. Нет обоснования необходимости применения сигнала реактивности в управлении ЯР.

Вычислители реактивности для автоматического управления разрабатываются по такому же принципу, на соответствие таким

же требованиям, как вычислители реактивности для физических измерений. Но требования к физическим измерениям принципиально отличаются от требований к автоматическому регулированию и АЗ по величине погрешности вычисления сигнала реактивности и быстродействию. Должны существовать отличия и в технических требованиях к различным по назначению вычислителям реактивности.

Развитие и частая смена электронной и электромеханической базы вызывают сомнение в корректности определения надежности по цифровому значению вероятности безотказной работы системы.

В некоторых ЯР свойство саморегулирования, созданного внутренними обратными связями, заметно влияет на его динамические характеристики, фактически образует автоматическое регулирование ЯР за счет собственных естественных физических свойств без внешнего вмешательства в процесс регулирования. Саморегулирование — пример автоматического регулирования и повышения самозащищённости ЯР в аварийных ситуациях. Это свойство необходимо использовать при создании САР.

Недостаточно отражены возможности регулирования параметров ЯР и ЯППУ в зависимости от режима работы ЯЭУ, повышения её коэффициента полезного действия (КПД). Отсутствует обоснование технических требований технического задания на разработку АСУ ЯР и АСУ ЯППУ математическим моделированием функционирования их АСУ.

Неправомерными являются значения погрешностей, предъявляемых в требованиях к каналам контроля **мощности** ЯР по сигналу нейтронного детектора при работе ЯР в режимах пуска и разогрева (горячего пуска).

Накопленный опыт работы и знаний по управлению ЯР позволяют применить более совершенные принципы управления, повысить уровень автоматизации, улучшить экономичность и безопасность, маневренность и качество регулирования параметров в установившихся и переходных режимах работы ЯР и ЯППУ.

Особое внимание следует обратить на принципы создания сложных САР.

Автоматизация ручного дистанционного регулирования параметра и создание САР — это два принципиально разных процесса и получения результата качества автоматического регулирования.

Автоматизация ручного дистанционного регулирования параметра объекта управления упрощает управление, но может ухудшить качество регулирования. Во-первых, исключается определён-

ная адаптивность процесса регулирования через разум человека, зависящая от его профессионализма. Во-вторых, появляется вероятность возникновения автоматических колебаний (автоколебаний), поскольку прямая автоматизация ручного дистанционного управления приводит к созданию релейного регулятора, свойства которого способствуют возникновению автоколебаний (гл. 2).

По сравнению с ручным дистанционным управлением САР с пропорциональным регулятором не только облегчает процесс управления, но и повышает качество регулирования: точность, быстродействие и качество переходных процессов.

В отличие от простой САР сложная САР требует учета принципов иерархии и приоритета, которые не рассматриваются в теории автоматического регулирования.

В книге рассматриваются главным образом принципы работы, создания и анализа главных САР ЯР и ЯППУ, позволяющие обеспечить заданное качество их основных выходных параметров.

Добиться лучших тактико-технических характеристик АСУ, определить оптимальную структуру, алгоритмы, характеристики и параметры управления проще, быстрее и точнее, если разработку АСУ начинать с её математического моделирования. Но исполнитель не будет моделировать АСУ объектом до выделения финансирования на такое моделирование и до утверждения ТЗ на неё. А финансирование такой работы отсутствует, поскольку отсутствуют нормативные требования на проведение подобных работ.

Все ЯР и ЯППУ ввиду ядерной и радиационной опасности являются государственными объектами и финансируются государством. А финансирования на разработку технической документации системы управления ЯР, ЯППУ и ЯЭУ нет, поскольку в практике существуют разные понимания и отсутствуют однозначные нормативные определения разных видов систем управления и, соответственно, нет нормативных требований на разработку их технической документации, её обязательной необходимости.

Такая практика складывалась, когда не было опыта создания ЯР, ЯППУ и ЯЭУ, а тем более АСУ ЯР, ЯППУ и ЯЭУ. Создавались ЯР, ЯППУ и ЯЭУ как установки, а не системы управления ЯР, ЯППУ, ЯЭУ, не было их аналогов, достаточно точных уравнений объектов управления, практики и возможностей их верификаций, высокоточной и быстродействующей вычислительной техники, позволяющие моделировать сложные системы управления (аналоговая вычислительная техника имела низкую точность, а цифровая — малое быстродействие).

В настоящее время усложнение задач, выполняемых системами управления, требований к её автоматизации, ресурсу, надёжности, безопасности усложняет технологические схемы, схемы управления и обслуживание. Сложность схемных решений, алгоритмов, интегральность схемного исполнения каналов управления увеличивает вероятность неконтролируемых неисправностей, сложность прогноза, выявления и устранения неисправностей.

Всё это создаёт существенные трудности разработки сложных систем управления. Теория автоматического управления рассматривает лишь простые управляющие системы, действующие в автоматическом режиме, и автоматические устройства, а теория автоматического регулирования — простые САР. Иногда теорию автоматического регулирования включают в состав теории автоматического управления.

Теория автоматического регулирования составляет не более 20% знаний, необходимых для создания САР. Краткий перечень других знаний рассмотрен в гл. 11. В учебных заведениях нет предмета, учебного пособия, учебника по разработке САР и, тем более, сложной САР, входящей в сложную АСУ, влияния на её работу всех её частей, с учётом взаимодействия простых САР.

Существующие АСУ ЯР, ЯППУ и ЯЭУ, опыт их испытаний и эксплуатации позволяют принимать их в качестве прототипов для разработки новых установок. Современная ЦВТ позволяет создавать их математические модели для проверки качества регулирования САР, включая устойчивость, до разработки конструкторской документации, сокращая время, средства и улучшая качество разработки сложной АСУ.

Математическое моделирование должно быть инструментом не только проверки и выбора величин параметров готовых технических решений САР, как этому обучают, и как происходит на практике, но и поиска, исследования, сравнения новых способов, алгоритмов управления, новых технических решений. Перспективным может стать активное математическое моделирование сложных САР (гл. 11), способствующее верификации математических моделей прототипов АСУ ЯЭУ на всех этапах их создания и эксплуатации.

Более высокий уровень автоматизации европейских АЭС и других электростанций, а также КПД создают более высокое качество и низкую цену электроэнергии, чем в России. Увеличить КПД российских АЭС не позволяет их работа с насыщенным паром. Уровень автоматизации систем управления российских АЭС в насто-

ящее время не позволяет выполнить требования по маневренности уровня мощности и экономичности, обеспечиваемые зарубежными АЭС для поддержания частоты напряжения в электрических сетях в пиковых режимах работы АЭС. В то же время «На международном рынке АЭС требование определённого уровня маневренности также, как правило, становится обязательным» [1]. Российские АЭС эффективно работают только на общую электрическую сеть в базовом режиме, поскольку имеют низкую маневренность изменения мощности. В автономном режиме, требующим выполнения функций пиковой электростанции, АЭС экономично работать не могут, поскольку при действующих в России принципах регулирования параметров ЯППУ увеличение маневренности снизит КПД АЭС. Чтобы российские АЭС были конкурентноспособны с зарубежными АЭС по качеству технических характеристик, необходимо повышать **качество** автоматического регулирования всех параметров АСУ ЯППУ и АСУ ЯЭУ.

Если бы *предупреждающие наставления* операторам в *инструкциях* по управлению были заменены простой для того времени *автоматизацией* этих операций, «чернобыльской» аварии не было бы. И даже без ликвидации конструктивного решения (которое и вызвало аварию), принятого ради получения экономического эффекта путем ухудшения ядерной безопасности (кратковременного введения положительной реактивности во время остановки ЯР). Недостаточный уровень и качество автоматизации определялись не уровнем техники и специалистов, который был вполне достаточен, а *системой организации работ* по созданию систем управления.

Система организации работ в России начала XXI в. устанавливает требования на разработку отдельных составляющих системы управления. А требования на создание полной сложной АСУ ЯР, ЯППУ и ЯЭУ отсутствуют, нет соответствующих специалистов, а также нормативной и технической документации (гл. 11). Когда уровень техники непрерывно и быстро растёт, влияние организации работ и уровня профессионализма разработчиков на качество автоматизации значительно повышается. Уровень знаний и умения специалистов России, в лучшем случае не увеличивается, а реально отстаёт от уровня науки и техники развитых стран.

В монографии рассмотрены, главным образом, вопросы, недостаточно полно отраженные в технической литературе, но их знание необходимо при разработке АСУ ЯР, ЯППУ и ЯЭУ. Большое внимание уделено физике рассматриваемых процессов, использованию достижений в технике АСУ ЯР, ЯППУ и ЯЭУ, созданию

алгоритмов управления, пригодных для выработки пара насыщенного, перегретого и с закритическими параметрами, как отмечено в материалах [1]. Понимание физических процессов, их взаимодействие в АСУ ЯППУ и ЯЭУ позволяет полнее учесть особенности объекта управления при построении САР и структуры АСУ. Повышение эффективности рассмотрено с точки зрения улучшения качества регулирования и повышения маневренности, КПД и ядерной безопасности.

В книге рассмотрены только основные системы управления ЯППУ, включая регулирование параметров пара, от которых зависит работа и создание АСУ ЯППУ. Принципы работы и создания остальных систем управления те же, что и основных систем управления.