

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 681.5:621.311.254

В. Н. ДУРНЕВ¹, А. Н. ЧЕРНЯЕВ¹, С. В. ДРОБОТ², В. Н. РУСАКОВИЧ²

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций,*

² *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

(Поступила в редакцию 08.10.2013)

Управление энергоблоками АЭС является сложным процессом как с точки зрения технологии, так и с позиции безопасности. Высокая скорость ядерно-физических реакций и наличие большого количества контуров регулирования требуют постоянного совершенствования управляющих систем на конструктивном, технологическом, проектном и административно-хозяйственном уровнях. При этом развитие управляющих систем должно включать совершенствование как комплекса средств автоматизации (КСА), так и способа управления технологическим объектом. Однако в настоящее время основным способом совершенствования систем автоматизации является внедрение на АЭС новой электронной и вычислительной техники, а главным предметом обсуждения и дискуссий является вопрос, в каких вариантах, типах и системотехнических разновидностях поставлять данную технику на АЭС. Поэтому цель совершенствования и развития управляющих систем – повышение их эффективности. Эффективность управляющих систем E равна сумме эффективностей КСА и способа управления:

$$E(t) = E_{\text{КСА}}(t, k_{\text{инт}}) + E_{\text{А}}(t, k_{\text{авт}}),$$

где $E_{\text{КСА}}$ – эффективность КСА, отношение изменения степени интеграции КСА $k_{\text{инт}}^1$ к затратам, направленным на развитие КСА, приведенным к полным затратам на развитие управляющих систем; $E_{\text{А}}$ – эффективность способа управления (отношение изменения степени автоматизации $k_{\text{авт}}^2$ к затратам, направленным на развитие способа управления и приведенным к полным затратам на развитие управляющих систем).

Эффективность управляющих систем как функция времени определена на отрезке времени от создания первой управляющей системы до бесконечности. Дифференцируемость функции эффективности управляющих систем свидетельствует об эволюционном развитии, за исключением точек революционного развития управляющих систем. Например, точка перехода от аналоговых управляющих систем к цифровым является точкой разрыва производной функции эффективности.

Развитие управляющих систем может иметь революционный и эволюционный характер. Для определения (идентификации) того или иного характера развития управляющих систем необходимо знание предшествующего этапа развития. Эволюционный путь характеризуется неизменностью

¹ Степень интеграции (функциональных возможностей) КСА – это отношение функций, которые может выполнять КСА, к общему числу функций, выполняемых управляющей системой.

² Степень автоматизации – это отношение числа автоматизированных и автоматических функций к общему числу функций, выполняемых управляющей системой.

направления развития, в то время как о степени революционности развития управляющих систем можно судить по углу наклона графика временной зависимости эффективности на выделенном отрезке времени. Суммарные приведенные затраты развития управляющих систем (финансовые, трудовые, эксплуатационные, научно-технические) обуславливают скорость изменения этого угла. Возможно как низкозатратное эволюционное развитие, т. е. развитие с малой степенью революционности, так и резко революционное развитие с высокими приведенными затратами. Оценка целесообразности выбора того или иного пути развития управляющих систем производится по суперпозиции суммарных приведенных затрат и положительных эффектов от развития. Концепция принимается, если результат суперпозиции является положительным числом.

Значение эффективности КСА в каждый момент времени пропорционально модулю суммы векторов эффективности компонентов управляющей системы. Наиболее значимые составляющие управляющей системы – программная и аппаратная составляющие, интерфейс человек–машина (ЧМИ) и специальное математическое обеспечение управления [1]. Для формирования перспективной концепции автоматизации необходима информация о развитии эффективности компонентов управляющих систем на репрезентативном отрезке времени, однако в связи с небольшим (в глобальном масштабе времени) периодом развития систем автоматизации, целесообразно выполнить анализ функции эффективности на всей области ее определения.

История создания управляющих систем энергоблоков российских АЭС с реакторами ВВЭР насчитывает почти 50-летний период и тесно связана с историей развития атомной отрасли, электроники, электротехники и теории управления середины прошлого века.

Управляющие системы АЭС в современном понимании являются одной из важнейших составляющих такого наукоемкого энергетического объекта, как атомная электростанция, однако на первоначальном этапе развития управляющих систем АЭС как систем в полном смысле не существовало. Характерным для этапа развития управляющих систем АЭС с ВВЭР конца 60-х годов XX в. является управляющая система энергоблока с реактором ВВЭР-440 серии В-179, которая состоит из информационно-вычислительной системы (ИВС) ИВ-500, блочного щита управления (БЩУ), спецсистем контроля, управления и защиты реакторной установки, низовой автоматики и теплотехнического контроля [2]. БЩУ состоит из зоны многошкальных приборов, табло технологической сигнализации, индивидуальных приборов, мнемосхем, пультов и ключей управления [3].

Основная функция ИВС – отображение информации на БЩУ. Управляющие функции реализованы на базе аппаратуры и средств защит, блокировок, автоматических регуляторов и дистанционного управления. ЧМИ построен на базе показывающих приборов, кнопок, переключателей и ключей управления. Для регулирования используются локальные регуляторы, одноконтурные системы регулирования.

Управляющие системы с ИВС И-500 являются отправной точкой развития российских управляющих систем АЭС с ВВЭР. Основные особенности начального периода развития – автоматические технологические защиты и блокировки, автоматические регуляторы и ручное управление, действия оператора выполняются на основе собственных знаний, инструкций по эксплуатации и алгоритмов управления исполнительными механизмами. Качество управления во многом зависит от реакции оператора и его квалификации.

С конца 70-х годов XX в. эволюционной управляющей системой АЭС является управляющая система первого энергоблока Калининской АЭС с реактором ВВЭР-1000 серии В-338 с системой контроля и управления ИВС «Уран-2» [2]. Основным элементом управляющей системы является блок, состоящий из двух ЭВМ М-6000/7000. В сравнении с управляющей системой с ИВС ИВ-500 наблюдается тенденция интеграции управляющих систем. Выделяются нулевой, первый и второй уровни автоматизации, показанные на рис. 1. Архитектура управляющей системы соответствует требованиям European Utility Requirements (EUR), описывающим управляющую систему как четырехуровневую структуру со строго определенным для каждого уровня функциональным назначением.

ИВС «Уран-2» выполняет только информационные функции, поэтому уровни управления нельзя считать полностью сформировавшимися. Дистанционное управление по-прежнему осу-



Рис. 1. Архитектура управляющей системы энергоблока АЭС

ществляется посредством аппаратуры низовой автоматики, кнопок, ключей и т. д., расположенных на БЩУ и являющихся органами дистанционного (ручного) управления [4]. Внедряются независимые каналы систем безопасности и резервный пункт управления.

В аппаратной части управляющих систем атомных станций с ВВЭР наблюдается интеграция функций регулирования, сбора и обработки информации, все больше функций управления возлагается на средства низовой автоматики и верхнего уровня автоматизации. Рост мощности вычислительной техники дает начало этапу интеграции управления. Программное обеспечение плавно эволюционирует, внедряются операционные системы с расширенным набором функций, модернизируются методы представления информации, архивирования и хранения данных. ЧМИ дополняется печатающими устройствами, дисплеями. Революционным развитием методов управления становится внедрение логических управляющих устройств и функционально-группового управления.

Развитие управляющих систем АЭС с ВВЭР в 80-е годы XX в. характеризуется эволюционным развитием программно-аппаратного обеспечения и методики управления в части внедрения функционально-группового управления. Наблюдаются дальнейшая интеграция управления, увеличение количества автоматизированных функций и повышение эргономичности ЧМИ.

Данные факторы позволили поднять уровень и степень автоматизации, снизить участие человека в рутинных операциях по управлению АЭС. К этому времени службы эксплуатации накопили достаточно опыта для формирования базы данных, на основе которой автоматизированная система и оператор согласованно осуществляли управление энергоблоком, что снижало вероятность совершения ошибок.

Характерной иллюстрацией уровня развития управляющих систем АЭС этого периода является управляющая система Балаковской АЭС с реактором ВВЭР-1000 серии В-320. Управляющая вычислительная система (УВС) реализована на базе технического комплекса «Титан-2», основанного на четырех машинах СМ-2 [2, 5]. Основным средством отображения на БЩУ являются мониторы.

Аппаратная составляющая управляющих систем рассматриваемого периода остается преимущественно дискретной, реализованной на жесткой логике, но с достаточно широким использованием цифровых средств автоматизации, примером которой может служить автоматизированная система управления турбоустановкой АСУТ-1000, которая не интегрирована с УВС «Титан-2». АСУТ-1000 выполняет функции [6]: сбора, обработки и представления информации; автоматического, автоматизированного и дистанционного управления; защит, блокировок и сигнализации. АСУТ-1000 имеет глубокую автоматическую и автоматизированную диагностику

до модуля системы. ЧМИ продолжает эволюционное развитие. Большая часть параметров представлена на мониторах.

С конца 90-х годов XX в. и до начала 2000-х гг. происходит революционное развитие в управляющих системах АЭС в части перехода к цифровым средствам управления на всех уровнях. Такой переход обусловлен резким скачком в возможностях использования цифровой техники и соответствующего программного обеспечения. Эффективность управляющих систем существенно возрастает.

В 1999 г. начался подъем атомной энергетики, сменивший ее застой, связанный с аварией на ЧАЭС. Принято решение о достройке 3-го энергоблока Калининской АЭС и 1-го энергоблока Ростовской АЭС. На общем научно-техническом совете ОАО «Росатом» в 2001 г. принято решение о создании управляющих систем с разными вариантами исполнения относительно применяемой аналоговой или цифровой техники [7]. Ростовская АЭС комплектовалась модернизированным унифицированным комплексом технических средств, т. е. аппаратурой с жесткой логикой, а 3-й блок Калининской АЭС – цифровой техникой. В результате постройки обоих блоков сделаны выводы о продолжении развития цифровых управляющих систем. В числе особенностей цифровой управляющей системы можно выделить наличие центральной цифровой шины данных с резервируемыми маршрутизаторами. Кнопки, ключи и другие органы дистанционного управления переведены на систему верхнего блочного уровня (СВБУ).

В начале XXI в. на смену управляющим вычислительным системам верхнего уровня приходят SCADA-системы (supervisory control and data acquisition – диспетчерское управление и сбор данных). С 2004 по 2012 г. на восьми блоках АЭС с ВВЭР-1000 были внедрены СВБУ, разработанные с использованием SCADA-систем «Портал» и «Оператор». Проектирование систем автоматизации ориентировано на применение цифровых технологий. Для информационного обмена используются цифровые протоколы передачи данных, оптические линии связи.

В следующих проектах происходят эволюционные улучшения во всех составляющих управляющих систем. Значительно улучшена эргономика ЧМИ – проводится глубокий функциональный анализ ЧМИ, внедрены современные средства отображения информации. Дальнейшая интеграция управления позволила расширить количество функциональных технологических групп для реализации функционально-группового управления. Режим нормальной эксплуатации практически полностью автоматизирован. В качестве программного обеспечения СВБУ используются операционные системы общепромышленного назначения. Увеличивается доля функций управления, реализованных на программном уровне.

В рассматриваемом периоде времени изменения в меньшей степени касаются методики управления и его математического обеспечения. Методика управления практически не претерпевает изменений и остается на уровне, который применялся на АЭС с управляющими системами первого поколения.

Средства проектирования и разработки также изменились. Произошел переход от «проектного пути» разработки управляющих систем со «слабым» применением элементов систем автоматизированного проектирования (САПР) к использованию САПР для создания программно-технических комплексов. Вместо поставки оборудования на АЭС «россыпью», в виде отдельных программно-технических комплексов с последующими сборкой, монтажом и испытаниями на месте, оборудование АСУ ТП, поставляемое на АЭС, представляет собой комплекс программно-технических средств, которые проходят всесторонние испытания на стендах и полномасштабных полигонах до поставки на АЭС.

По состоянию на 2013 г. разработаны апробированные технические решения по управляющим системам, освоена современная технология создания цифровых управляющих систем, существуют коллективы организаций, которые могут решить практически любую задачу автоматизации управления АЭС на высоком уровне [8]. Стратегия создания управляющих систем основана на эволюционном совершенствовании технических решений.

Сегодня действия оператора основаны на выполнении правил и инструкций, при этом существует его информационная поддержка в переходных режимах и при преодолении аварийных ситуаций. Начинают внедряться архитектуры, предотвращающие ошибки оператора путем временного запрета его действий в аварийных ситуациях.

Эффективность управляющих систем за рассмотренный период развития значительно выросла. Аппаратные средства автоматизации прошли путь от средств на жесткой логике до цифровых интегрированных комплексов с возможностью передачи данных по стандартизированным протоколам связи. Функции управления переданы под контроль программно-технических комплексов. Программное обеспечение условно разделилось на уровни системного программно-го обеспечения, микропрограммного обеспечения, серверного программного обеспечения, общепромышленного программного обеспечения. Результатом развития программного обеспечения, цифровых аппаратных средств автоматизации и протоколов передачи информации является отказ от применяемых ранее средств отображения информации в пользу мониторов и экранов коллективного пользования. Управление кнопками, ключами и тумблерами сменилось управлением с помощью манипуляторов и цифровых клавиатур, а кнопки и индивидуальные приборы используются только как резервные средства на гипотетический случай полного отказа цифровой техники.

Самая наукоемкая часть систем автоматизации – методика управления – также претерпела изменения. Со времен создания первых управляющих систем были применены каскадные системы регулирования, оптимальные методики управления и т. д. Результатом развития стало функционально-групповое управление. К сожалению, дальнейшее развитие управляющих систем идет по пути увеличения количества функциональных групп управления, что может привести к дезинтеграции управляющей системы и как следствие – к снижению уровня и степени автоматизации.

Обзор истории создания управляющих систем АЭС позволяет построить векторную диаграмму эффективности КСА управляющих систем в разные периоды времени, вычисленную как модуль суммы векторов эффективности всех составляющих управляющей системы (рис. 2). Векторные диаграммы развития эффективности управляющих систем построены на основе качественной оценки аппаратной, программной составляющих и ЧМИ.

Следует отметить, что углы между векторами А, П и ЧМИ одинаковые в силу их равнозначности по отношению к эффективности КСА (рис. 2). Зависимость эффективности КСА от времени и эффективности способа управления показана на рис. 3, а.

Эффективность монотонно возрастает, что свидетельствует о правильности направления модернизации. Убывание функции развития возможно только при тупиковых ветвях модернизации или ошибочно принятых решениях по автоматизации. К 2013 г. развитие КСА управляющих систем неуклонно продолжается.

Эффективность способа управления не является монотонной функцией, она может возрастать и убывать ввиду множества влияющих факторов. Даже в случае снижения эффективности способа управления за счет роста эффективности КСА можно получить увеличение эффективности управляющих систем, но это экстенсивный путь развития.

В настоящее время складывается ситуация, в которой российским организациям приходится выдерживать жесткую конкуренцию со стороны зарубежных разработчиков и поставщиков управляющих систем АЭС: китайский заказчик для АЭС «Тяньвань», чешский заказчик для АЭС «Темелин» и болгарский заказчик для АЭС «Белене» отказались от российских управляющих систем.

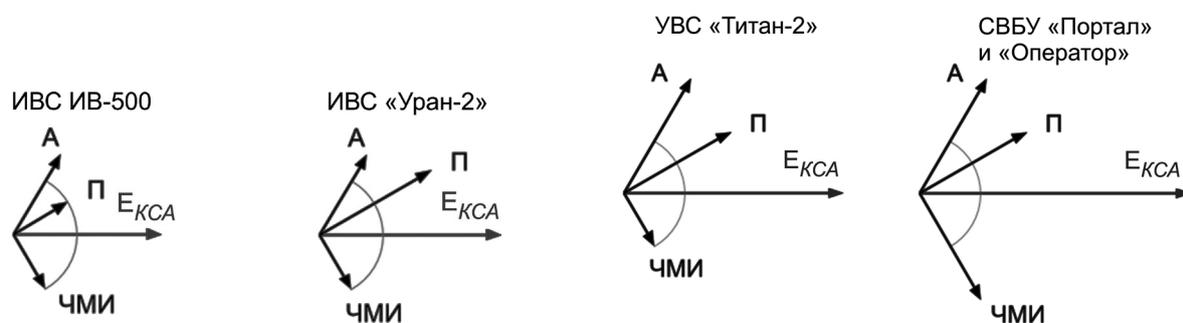


Рис. 2. Векторная диаграмма изменения эффективности КСА: А – аппаратная составляющая, П – программная составляющая

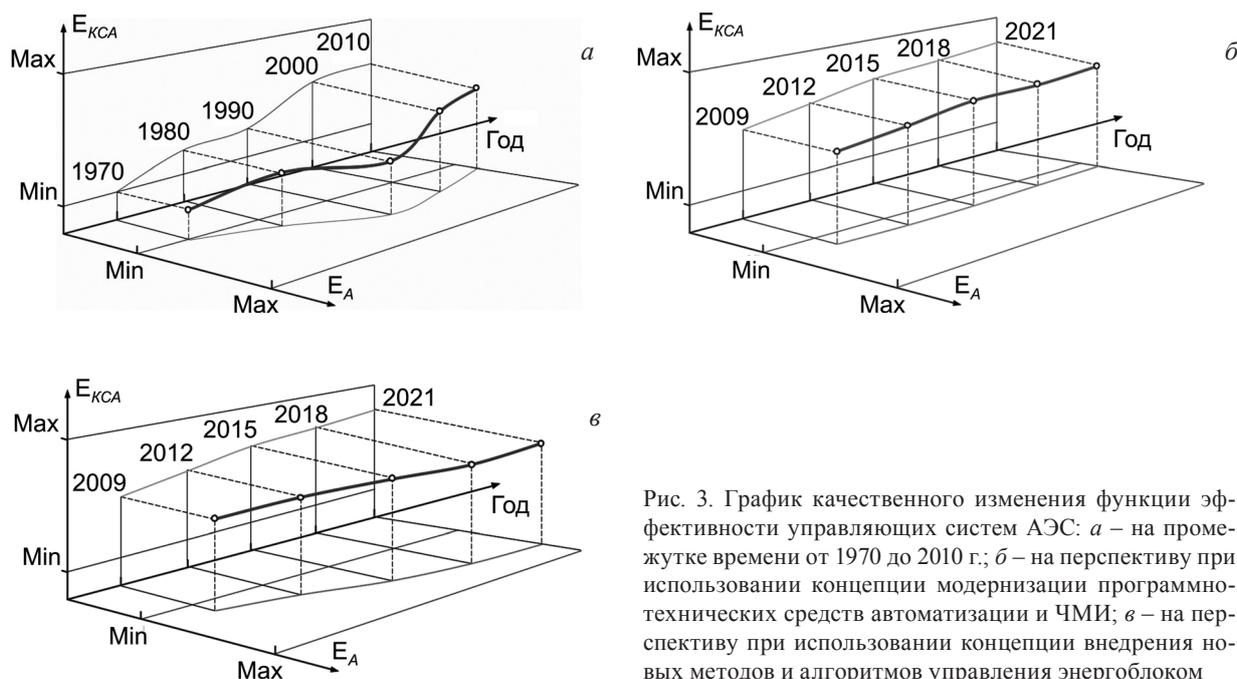


Рис. 3. График качественного изменения функции эффективности управляющих систем АЭС: *а* – на промежутке времени от 1970 до 2010 г.; *б* – на перспективу при использовании концепции модернизации программно-технических средств автоматизации и ЧМИ; *в* – на перспективу при использовании концепции внедрения новых методов и алгоритмов управления энергоблоком

Предлагаемые зарубежными поставщиками управляющие системы имеют хорошую репутацию, референтность, возможность изменения проекта с учетом требований заказчика и оптимальную цену, что позволяет успешно продвигать их на мировом рынке.

Дальнейшее развитие техники требует уровня соответствия проекта не ниже уровня требований, предъявляемых в мире к третьему поколению реакторов G3 и G3+. Рынка для проектов, не соответствующих G3 и G3+, практически нет.

Для обеспечения преимуществ конкуренты снижают цены на энергоблоки. Корейский блок с реактором APR-1400, реализованный на базе американской технологии «System80+», является проектом G3, соответствует требованиям Nuclear Regulatory Commission (NRC), сертифицирован Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ). Пуски блоков состоятся раньше, чем у российского проекта АЭС-2006: первые вводы в эксплуатацию запланированы на 2013 и 2014 гг. Для снижения цены проект оптимизирован по количеству оборудования и материалоемкости. Оборудование производится в Корее. Китайский энергоблок с реактором AP-1000, основанный на проекте компании Westinghouse, сертифицирован в NRC как G3+, а также в МАГАТЭ. Ввод в эксплуатацию первых блоков заявлен раньше, чем у АЭС-2006: первые вводы будут осуществлены в 2013 и 2014 гг. Количество оборудования управляющей системы в разы меньше, чем на АЭС-2006 [9].

Как отмечалось ранее, функция эффективности управляющих систем продолжает монотонное движение вверх, но для перехода в область повышения эффективности при сохранении темпов развития необходимы новые подходы в проектах управляющей системы АЭС. Развитие управляющих систем подразумевает оптимизацию требований к проекту АСУ ТП АЭС.

Совершенствование технологии создания и технических решений управляющих систем заключается в оптимизации проектных решений, унификации и тиражировании проекта, размещении заказа на управляющую систему для серии энергоблоков АЭС, повышении степени заводской готовности, снижении капитальных и эксплуатационных затрат, использовании прогрессивной технологии автоматизированного проектирования.

Для решения технических и технологических задач необходимо соблюдение новых технических требований по проектированию управляющих систем с учетом российского и мирового опыта создания проектов АЭС. Развитие управляющих систем подразумевает совершенствование и оптимизацию ЧМИ.

Современные технические и системные решения управляющих систем предполагают [10]: использование интегрированной управляющей системы энергоблока,

использование унифицированных, серийно выпускаемых программно-технических средств, применение интеллектуальных сенсоров и приводов арматур с оптоволоконной передачей информации и команд,

реализацию единой системы комплексного диагностирования технологического оборудования, объединение станционных систем контроля и управления в единую систему,

внедрение защиты программно-технических средств и комплексов от несанкционированного доступа, вирусов, намеренного силового воздействия, коммутационных и грозовых разрядов,

применение дисплейных местных пультов управления для локальных систем контроля и управления с объединением их по общей шине для передачи информации в системы верхнего блочного уровня и верхнего станционного уровня.

Таким образом, существующая концепция развития управляющих систем предусматривает глубокую модернизацию программно-аппаратного обеспечения системы, ЧМИ и программного обеспечения. При этом методика управления остается неизменной с момента внедрения функционально-группового управления в 80-е годы XX в. Концепция развития предусматривает развитие интеллектуальных управляющих систем, но не отвечает на вопрос о методах их создания.

Очевидно, что для повышения надежности можно применять развитую систему диагностики, для снижения стоимости оборудования и его количества использовать современные протоколы передачи данных и более мощные вычислительные средства.

Анализ развития систем управления показывает, что алгоритмы управления не менялись на протяжении более 30 лет при глубоких изменениях в структуре управляющей системы, программно-технических средствах автоматизации, интерфейсе человек–машина.

На графике временной зависимости функции управляющих систем (рис. 3, б) видно, что существующая концепция модернизации управляющих систем является эволюционной. Для дальнейшего существенного повышения эффективности необходима разработка нового специального математического обеспечения управления для АЭС.

Управляющие системы третьего поколения [11] подразумевают наличие следующих функций: автоматизация переходных режимов и преодоления аварийных ситуаций,

полное цифровое оптимальное и супервизорное регулирование с возможностью изменения критериев качества [2, 12],

полностью интегрированное управление по основному технологическому процессу.

Архитектура управляющих систем третьего поколения должна быть построена с соблюдением принципов глубокоэшелонированной защиты, защиты от отказа по общей причине, обеспечения безопасного отказа и предотвращения ошибок оператора. Действия оператора должны быть основаны на базе знаний. В качестве «помощника» оператора должны быть внедрены экспертные системы. Третье поколение систем автоматизации подразумевает использование интеллектуальных стратегий управления и регулирования.

Следующим этапом развития управляющих систем должна стать:

всережимная автоматизация блока,

интеграция системы путем использования информационных сетей и общей базы данных и базы знаний,

интеграция всех функций контроля и управления,

использование роботизированных и телемеханических систем.

Оператор будет выполнять функции наблюдателя при работе систем управления и регулирования. Его ошибки исправляются управляющей системой. В управляющих системах будут внедряться экспертное управление и регулирование.

Перечисленные требования к функциям управляющих систем базируются на математическом обеспечении систем управления. В случае перехода от концепции модернизации аппаратно-программной части и ЧМИ к концепции внедрения новых методов и алгоритмов управления энергоблоком эффективность управляющих систем помимо возрастания по оси эффективности КСА будет восходить по оси эффективности способов и методов управления. График временной зависимости эффективности управляющих систем АЭС, соответствующей такому пути развития, показан на рис. 3, в.

Эффективность управляющих систем может прогрессировать, если процесс пойдет по одному из двух путей: эволюционному или революционному. У каждого из рассмотренных вариантов существуют достоинства и недостатки. Достоинством обоих вариантов является сохранение восходящего характера функции эффективности систем автоматизации.

Эволюционный вариант развития – вариант быстрой модернизации системы за счет внедрения новых программно-аппаратных решений, обновления ЧМИ и внедрения улучшенного программного обеспечения. Затраты на модернизацию в большинстве случаев ниже затрат на разработку принципиально новых технологий функционирования. Риск ошибочно выбранных решений на порядок ниже риска, соответствующего революционному развитию.

Революционный вариант развития управляющих систем является долгосрочным, с большим объемом научно-исследовательских работ и как следствие риском ошибочного или неоптимального принятия технических и методологических решений. В краткосрочной перспективе рентабельность такого подхода ниже рентабельности эволюционного варианта. Однако в долгосрочной перспективе рассматриваемый вариант полностью способен окупить затраты на его разработку и создаст мощный конкурентный потенциал.

Оба варианта модернизации управляющих систем АЭС увеличивают эффективность КСА без снижения эффективности управляющих систем в целом. При этом революционный путь развития, связанный с большими рисками, способен вывести функцию эффективности управляющих систем в точку максимума.

В отсутствие развития методик управления рост эффективности возможен только за счет развития эффективности КСА – это экстенсивный путь.

Неверный выбор пути развития управляющих систем АЭС может повлечь за собой серьезные последствия для российских производителей систем автоматизации и привести к уходу последних с международного рынка из-за наличия жесткой конкуренции со стороны зарубежных производителей, а также строгих требований органов регулирования безопасности.

В условиях свободной конкуренции и отсутствия государственного регулирования возможна потеря внутреннего рынка объектов автоматизации, примером которой служит утрата рынка автоматизации тепловых электростанций и других энергогенерирующих производств.

Применение новых методов управления в управляющих системах атомных электростанций позволит увеличить их безопасность, повысить коэффициент готовности, управляемость объекта регулирования, снизить количество оборудования системы автоматизации, уменьшить информационные потоки управляющих систем и стоимость аппаратной части системы управления, упростить ЧМИ, снизить численность регуляторов, повысить КПД системы управления и степень автоматизации.

Применение новых подходов к управлению атомными электростанциями по предварительной оценке позволит повысить КПД энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 на 1–3%, что соответствует повышению выработки электроэнергии за год на 180–250 ГВт·ч по каждому энергоблоку.

Литература

1. *Гвардейцев М. И., Морозов В. П., Розенберг В. Я.* Специальное математическое обеспечение управления. М., 1978.
2. *Боженков О. Л.* // Научно-практический семинар «Проблемы организации оценки соответствия и обеспечения качества ПТС и ПТК АСУ ТП энергоблоков АЭС», ВНИИАЭС, Москва, 29 февраля 2012 г. М., 2012.
3. *Машиностроение. Энциклопедия. Машиностроение ядерной техники.* Т. IV-25. В 2 кн. М., 2005. Кн. 2.
4. *Ястребенецкий М. А.* Системы управления и защиты ядерных реакторов. Киев, 2011.
5. *Ястребенецкий М. А.* Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы. Киев, 2004.
6. *Анохин А. Н., Острейковский В. А.* Вопросы эргономики в ядерной энергетике. М., 2001.
7. *IAEA. Modern instrumentation and control for nuclear power plants / Technical reports series N 384.* Vienna, 1999.
8. *Дунаев В. Г.* // Росэнергоатом. 2011. № 4. С. 20 – 24.
9. *Альбом оборудования АСУ ТП проекта АЭС-2006.* М., 2008.
10. *Аркадов Г. В., Дунаев В. Г., Боженков О. Л.* // Ядерные измерительно-информационные технологии. 2009. № 2. С. 4–21.

11. Дунаев В. Г. Автоматизация управления АЭС с ВВЭР ТОИ (требования к концепт-проекту). М., 2011.
12. Боженков О. Л. // Отраслевой семинар «Современные программно-технические средства и технологии в АСУТП», ЦИПК, Обнинск, 27–29 октября 2010 г. Обнинск, 2010.

V. N. DURNEV, A. N. CHERNYAEV, S. V. DROBOT, V. N. RUSAKOVICH

MODERN TRENDS OF NPP CONTROL SYSTEMS DEVELOPMENT

Summary

The analysis of Russian NPP power units control systems evolution with reactors VVER over the last 50 years is carried out. The present state and trends of their development is presented. Importance of advance and introduction of new progressive methods and algorithms of NPP control which will allow increasing units efficiency is shown.